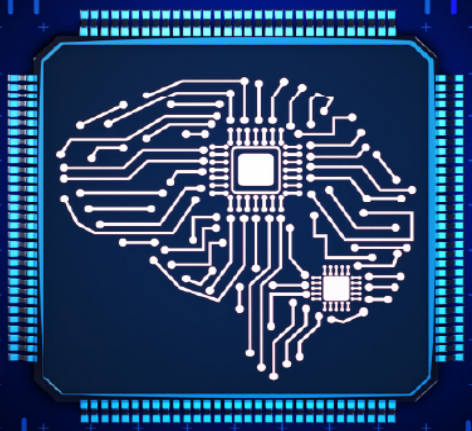
LaSalle Universidad

Vol 7 N°2
Septiembre - Febrero
2026

INNOVACIÓN Y SOFTWARE

REVISTA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA DE ULASALLE



Universidad La Salle, Arequipa Perú
facin.innosoft@ulasalle.edu,pe
https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft

ARK: ark:/42411/s30
PURL: 42411/s30
DOI: 10.48168/innosoft.s30

Revista Innovación y Software

Vol. 7 Nº. 2 2026 Septiembre - Febrero
ISSN: 2708-0935
DOI: 10.48168/innosoft.s30
ARK: ark:/42411/s30
Depósito Legal: 2023-08884
Periodicidad: Semestral
Publicado: 30/09/2026

Editado por: Universidad La Salle
RUC: 20456344004
Ave. Alfonso Ugarte No. 517, Cercado, Arequipa, Perú

Comité Editorial
Editor jefe: Dr. Yasiel Pérez Vera
Editores asociados: MSc. Anié Bermudez Peña, Dr. Percy Oscar Huertas Niquén

Miembros del Consejo Editorial:
Dr. José Manuel Patricio Quintanilla Paulet
Hno. Jacobo Meza Rodríguez
Dr.C. José Javier Zavala Fernández
Dr. Glenn Roberto Arce Larrea
Dr.C Álvaro Rodolfo Fernández del Carpio
MSc. Paul Mauricio Mendoza del Carpio

Corrección de estilos: MSc. Orlando Alonso Mazeyra Guillén
Maquetación: Patrick Andrés Ramírez Santos

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.
Se permite la reproducción total o parcial de este libro, así como su transmisión sin fines de lucro por cualquier medio, respetando los derechos de autor con respecto al texto e ilustraciones.



Hecho en Perú

Editorial

Estimados lectores,

Nos complace presentar el Volumen 7, Número 2 de la Revista Innovación y Software (septiembre 2026 – febrero 2027). Esta edición reúne siete trabajos de autores de Perú, México y Argentina que abordan, desde la gestión de servicios de tecnologías de la información y la inteligencia artificial hasta la criptografía, la ingeniería de software, el análisis de imágenes satelitales y la usabilidad de plataformas educativas, problemas concretos de la práctica y la investigación en computación.

En la sección de artículos cortos se presentan dos contribuciones. La primera aplica el modelo ITAM a la gestión de servicios de TI en la biblioteca de la Universidad Privada Antenor Orrego, con el propósito de aprovechar mejor el patrimonio tecnológico de su comunidad universitaria. La segunda vuelve sobre los fundamentos del aprendizaje automático: implementa desde cero la neurona artificial y el perceptrón simple, y muestra sus límites frente al problema XOR.

La sección de artículos originales incluye cinco investigaciones. Se propone una variante reducida del esquema Salsa20 ruidoso aleatorio con rendimiento mejorado, en el ámbito de la seguridad informática. Se presenta *annotater*, un paquete que mejora los llamados a paquetes en el lenguaje R. Se estudia la relación entre las luces nocturnas captadas por el sensor VIIRS y la incidencia estimada de pobreza monetaria en la provincia de Puno entre 2013 y 2024. Se describe el diseño y la verificación funcional de un prototipo RAG híbrido para la consulta de documentación técnica. Finalmente, se evalúa el grado de usabilidad de entornos LMS mediante el método de evaluación heurística con estudiantes de colegios particulares de Trujillo.

Agradecemos a los autores por confiar sus trabajos a la revista y a los revisores por su labor rigurosa y desinteresada. Esta edición reafirma el compromiso de la revista con la difusión de investigaciones rigurosas, interdisciplinarias y orientadas a comprender el impacto transformador de la tecnología en la sociedad contemporánea.

Atentamente,

Comité Editorial

Índice

Artículos Cortos 5

Gestión de Servicios de TI en la Biblioteca de la Universidad Privada Antenor Orrego: Aplicación del Modelo ITAM para la Maximización del Patrimonio Tecnológico de la Comunidad Orreguiana 6

La neurona artificial y el perceptrón simple: implementación desde cero y sus límites frente al problema XOR 18

Artículos Originales 27

Una Variante Reducida del Esquema Salsa20 Ruidoso Aleatorio con Rendimiento Mejorado . . . 28

Mejorando los llamados a paquetes de R con annotater 50

Luces nocturnas VIIRS e incidencia estimada de pobreza monetaria en la provincia de Puno, 2013–2024 59

Diseño y verificación funcional de un prototipo RAG híbrido para consulta documental técnica . 75

Grado de usabilidad en entornos LMS a través del método de evaluación heurística en estudiantes de colegios particulares de Trujillo 88

Artículos Cortos

Revista Innovación y Software
Vol. 7, No. 2, Mes Septiembre - Febrero, 2026
ISSN: 2708-0935
Pág. 6-17
https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Tipo de artículo: Artículos cortos
Temática: Tecnologías de la información y las comunicaciones
Recibido: 26/08/2026 | Aceptado: 11/09/2026 | Publicado: 30/09/2026

Identificadores persistentes:
DOI: 10.48168/innosoft.s30.a374
ARK: ark:/42411/s30.a374

Gestión de Servicios de TI en la Biblioteca de la Universidad Privada Antenor Orrego: Aplicación del Modelo ITAM para la Maximización del Patrimonio Tecnológico de la Comunidad Orreguiana

IT Service Management at the Universidad Privada Antenor Orrego Library: Applying the ITAM Model to Maximize the Technological Assets of the Orreguian Community

Herrera Payano Jhonatan Andres[1*], Pelaez Roque Alexander Jan Pool[2]

[1]Escuela de Ingeniería de Computación y Sistemas, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
t1013300421@unitru.edu.pe
[2]Escuela de Ingeniería de Computación y Sistemas, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
t513300920@unitru.edu.pe

[*]Autor para correspondencia: t1013300421@unitru.edu.pe

Resumen
Las bibliotecas universitarias de hoy deben cumplir con un doble objetivo: facilitar el acceso rápido al conocimiento y, al mismo tiempo, administrar de forma eficiente un número cada vez mayor de equipos y recursos tecnológicos. En la Biblioteca Central de la Universidad Privada Antenor Orrego (UPAO), en Trujillo (Perú), esta tarea resulta especialmente compleja, ya que sus recursos digitales dan servicio a más de 25,000 usuarios. Este artículo presenta un modelo de Gestión de Activos de TI (ITAM) diseñado específicamente para esa biblioteca, basado en las buenas prácticas de ITIL 4 y adaptado a los requisitos de la norma ISO/IEC 19770-1. A partir de un análisis documental y un diagnóstico de la situación actual, se identifican las principales carencias en la gestión del ciclo de vida de los activos tecnológicos (hardware, software y servicios en la nube) y se plantea una hoja de ruta con cuatro fases: inventario y clasificación, gestión de contratos y licencias, monitoreo continuo y mejora del servicio. Como resultado, se espera reducir el gasto en licencias infrautilizadas, mejorar el cumplimiento normativo y, sobre todo, ofrecer un servicio más fiable a la comunidad orreguiana. Este modelo podría aplicarse también en otras universidades del norte del Perú.

Palabras claves: gestión de activos de TI; ITAM; ITIL 4; ISO/IEC 19770; biblioteca universitaria; patrimonio tecnológico; UPAO.

Abstract
Today's university libraries must meet a twofold objective: providing quick access to knowledge while efficiently managing an ever-growing number of technological devices and resources. At the Central Library of the Universidad Privada Antenor Orrego (UPAO) in Trujillo, Peru, this task is especially challenging, as its digital resources serve more than 25,000 users. This article presents an IT Asset Management (ITAM) model specifically designed for that library, based on ITIL 4 best practices and adapted to the requirements of the ISO/IEC 19770-1 standard. Drawing on documentary analysis and a diagnosis of the current situation, the study identifies the main shortcomings in managing the lifecycle of technological assets (hardware, software, and cloud

Revista Innovación y Software
Vol. 7, No. 2, Mes Septiembre - Febrero, 2026
ISSN: 2708-0935
Pág. 6-17
https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft

services) and proposes a four-phase roadmap: inventory and classification, contract and license management, continuous monitoring, and service improvement. As a result, the model is expected to reduce spending on underused licenses, improve regulatory compliance, and — above all — provide a more reliable service to the Orreguian community. This model could also be applied at other universities in northern Peru.

Keywords: *IT asset management; ITAM; ITIL 4; ISO/IEC 19770; university library; technological assets; UPAO.*

INTRODUCCIÓN

La transformación digital ha cambiado por completo el rol de las bibliotecas universitarias. Ya no son solo depósitos de libros impresos, sino verdaderos centros de servicios tecnológicos: bases de datos en línea, repositorios institucionales, software especializado, computadoras de consulta y recursos en la nube. Sin embargo, esta evolución trae consigo una paradoja: cuanto más rica es la infraestructura tecnológica, más difícil resulta gestionarla de forma ordenada. Esto suele traducirse en costos ocultos, riesgos de incumplimiento y una calidad de servicio que se deteriora con el tiempo.

La Biblioteca Central de la UPAO, reconocida como la mejor del norte del Perú [1,2], no es ajena a esta realidad. Con sedes en Trujillo y Piura, y más de 25,000 estudiantes repartidos en 22 carreras y nueve facultades [3], la universidad maneja un ecosistema tecnológico amplio: catálogos en línea, suscripciones a bases de datos internacionales como SciELO o Pearson Virtual Library, integración con Google Scholar, mediatecas digitales y plataformas para tesis. La jefa de la Biblioteca, la licenciada Vania Namuche Zavaleta, señala que el objetivo principal es "brindar un servicio moderno y de calidad en función a las necesidades informativas y de investigación de los usuarios" [1, 2]. Pero alcanzar esa meta requiere algo más que buenas intenciones; necesita una gestión estructurada de cada recurso tecnológico que forma parte del servicio.

Aquí es donde entra el concepto de IT Asset Management (ITAM), o gestión de activos de TI. Como lo define IBM [4], se trata de "el seguimiento y gestión integral de los activos informáticos para garantizar que cada uno se utilice, mantenga, actualice y elimine correctamente al final de su ciclo de vida". ITAM integra aspectos financieros, contractuales, de inventario y de riesgos en un mismo marco de gobierno. Su complemento natural es ITIL 4 (Information Technology Infrastructure Library, cuarta edición), el estándar más usado para la gestión de servicios de TI. Su Sistema de Valor del Servicio (SVS) y su cadena de valor aportan los procesos operativos que dan vida a las decisiones estratégicas del ITAM. Ambos enfoques encuentran su referencia normativa en la familia ISO/IEC 19770, especialmente en su parte 1 (actualizada en 2017), que detalla los requisitos para un sistema de gestión de activos de TI certificable (ISO/IEC, 2017).

¿Por qué es urgente aplicar este modelo en la Biblioteca UPAO? Hay tres razones principales. Primero, los

recursos son limitados: la universidad es una institución sin fines de lucro que reinvierte sus excedentes en su propia comunidad [5], por lo que debe optimizar cada sol invertido en tecnología. Segundo, no cumplir con las licencias de software puede acarrear sanciones legales y dañar la reputación. Tercero, investigaciones en Latinoamérica muestran que implementar marcos ITIL en entidades públicas y educativas mejora notablemente la calidad del servicio. Por ejemplo, el estudio de Díaz-Benítez et al. [6], realizado en una institución pública de Chiclayo, encontró que ITIL 4 influye en un 28,4 % en la gestión de servicios de TI y en un 24,9 % en la eficiencia de la mesa de ayuda.

El objetivo de este artículo es proponer un modelo ITAM adaptado a la realidad operativa de la Biblioteca Central de la UPAO, describiendo sus fases, herramientas e indicadores de éxito. La contribución es doble: por un lado, ofrece una guía práctica que puede ser replicada en otras bibliotecas universitarias peruanas; por otro, aporta al debate académico sobre la gobernanza tecnológica en las instituciones de educación superior del norte del Perú.

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Gestión de Activos de TI (ITAM)

El ITAM puede entenderse como la disciplina que aúna la gestión financiera, contractual, de inventario y de riesgos para gobernar el ciclo de vida completo de los activos tecnológicos de una organización [7]. Un activo de TI comprende, en términos amplios, cualquier componente de hardware —servidores, computadoras, dispositivos móviles, impresoras—, software —aplicaciones instaladas localmente, licencias y suscripciones SaaS— o recurso en la nube que contribuya a la prestación de servicios digitales (IBM, 2024).

La relevancia del ITAM no debe subestimarse. Según CloudEagle (2025), las universidades utilizan en promedio más de 170 aplicaciones SaaS distintas, pero solo el 25 % cuenta con un programa estructurado de gestión de activos, lo que genera gastos excesivos, activos huérfanos y riesgos de cumplimiento normativo. En el ámbito educativo, la realidad es aún más compleja porque la base de usuarios —estudiantes, docentes, investigadores y personal administrativo— es heterogénea, cambia constantemente y demanda acceso simultáneo a múltiples plataformas [8]. Controlar este ecosistema sin un programa ITAM equivale, metafóricamente, a gestionar una biblioteca sin catálogo.

El ciclo de vida de un activo TI recorre cuatro etapas fundamentales: adquisición (compra o suscripción), despliegue (instalación y asignación a usuarios), mantenimiento (actualizaciones, soporte y renovaciones contractuales) y disposición (retiro, reutilización o baja definitiva). Cada etapa genera datos —costos, fechas, responsables, condición técnica— que, integrados en un repositorio centralizado, permiten tomar decisiones

estratégicas fundamentadas (InvGate, 2026).

La Norma ISO/IEC 19770 como Marco de Referencia

La familia ISO/IEC 19770 constituye el marco normativo internacional específico para el ITAM. Consta, en su versión vigente, de cinco partes complementarias (itSMF España, 2021):

- ISO/IEC 19770-1: requisitos del sistema de gestión de activos de TI (única parte certificable).
- ISO/IEC 19770-2: etiquetas de identificación de software (SWID).
- ISO/IEC 19770-3: esquema de derechos de uso (entitlements).
- ISO/IEC 19770-4: medición del uso de recursos de TI.
- ISO/IEC 19770-5: visión general y vocabulario.

Para el contexto de la Biblioteca UPAO, la parte 1 resulta especialmente pertinente, ya que establece los requisitos mínimos organizativos que una institución debe cumplir para demostrar que lleva a cabo procedimientos ITAM conforme a buenas prácticas reconocidas internacionalmente [7]. Igualmente, la parte 4 es relevante porque permite medir el grado efectivo de utilización de los recursos digitales suscritos, información crítica para justificar renovaciones o cancelaciones de licencias ante las autoridades universitarias.

ITIL 4 y su Integración con el ITAM

ITIL 4, publicado en 2019 como evolución del marco anterior, proporciona un Sistema de Valor del Servicio (Service Value System, SVS) que describe cómo todos los componentes de una organización —gobierno, cadena de valor, prácticas, principios guía y mejora continua— trabajan conjuntamente para crear valor [9]. Sus 34 prácticas de gestión incluyen de manera explícita la Gestión de Activos de TI, la cual se concibe como una práctica habilitadora que alimenta a otras, como la Gestión de Configuraciones, la Gestión de Cambios y la Gestión de Incidentes (IBM, 2024).

La relación entre ITAM e ITIL no es de competencia sino de complementariedad. Si el ITAM provee el inventario preciso de qué activos existen y en qué estado se encuentran, ITIL proporciona los procesos para operar esos activos de manera que generen valor de servicio. Dicho de otro modo: sin ITAM, los procesos ITIL operan ”a ciegas”; sin ITIL, el inventario ITAM carece de los flujos de trabajo necesarios para mantenerse actualizado. Esta sinergia está bien documentada en implementaciones latinoamericanas: en una institución

bancaria peruana con más de 10 000 usuarios, la adopción combinada de ITAM e ITIL 4 permitió gestionar en línea 13 000 activos informáticos y estandarizar la atención de manera apreciable (ITWorks4Humans, 2025).

Los siete principios guía de ITIL 4 —enfocarse en el valor, comenzar donde se está, progresar iterativamente con retroalimentación, colaborar y promover la visibilidad, pensar y trabajar holísticamente, mantenerlo sencillo y práctico, y optimizar y automatizar [10]— ofrecen además una brújula cultural que facilita la adopción del modelo propuesto en entidades con recursos limitados, como suele ser el caso de las bibliotecas universitarias.

CONTEXTO INSTITUCIONAL: LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA UPAO

Perfil de la Institución

La Universidad Privada Antenor Orrego inició su trayectoria el 26 de julio de 1988 bajo el amparo de la Ley N.° 24879. Desde sus orígenes, la institución se ha definido por su carácter social, lo que obliga legal y éticamente a reinvertir la totalidad de sus excedentes económicos en optimizar su propia infraestructura y propuesta educativa [5]. Actualmente, la UPAO cuenta con el licenciamiento institucional otorgado por la SUNEDU desde el año 2018, ubicándose en la posición 31 dentro del monitoreo nacional de dicha entidad (EstudiaPeru, 2023). Su despliegue operativo no se limita al campus central en la urbanización Monserrate de Trujillo (Av. América Sur 3145), sino que se expande con fuerza en la filial de Piura, la cual viene funcionando de manera ininterrupción desde el semestre 2011-1.

Con un ecosistema que alberga 22 carreras profesionales distribuidas en nueve facultades y programas de posgrado que comprenden 16 maestrías, cuatro doctorados y un diplomado, la institución atiende a una comunidad universitaria diversa. Esta diversidad, en términos de disciplinas, niveles académicos y hábitos de uso tecnológico, es precisamente el factor que hace imprescindible una gestión de activos TI rigurosa.

Servicios y Recursos Tecnológicos de la Biblioteca

La Biblioteca Central de la UPAO es descrita en la literatura institucional como ”la mejor de la macrorregión norte del país” [1, 2]. Su catálogo de servicios abarca modalidades presenciales y digitales:

En el plano físico, ofrece estantería abierta, préstamo en sala y préstamo a domicilio, hemeroteca, mediateca, sala de tesis y ambientes de estudio individual y grupal —tanto para uno como para hasta ocho usuarios por cubículo—. En el plano digital, pone a disposición de la comunidad orreguiana bases de datos académicas internacionales (SciELO, SciELO Libros, DOAJ), la Biblioteca Virtual Pearson, un catálogo en línea, el Repositorio Institucional (repositorio.upao.edu.pe) —de acceso abierto para tesis de pregrado y posgrado—

y servicios de búsqueda a través de Google Scholar [1, 2]. Adicionalmente, la institución ofrece acceso a investigadores externos, lo que amplía aún más el radio de usuarios a los que deben dar soporte sus activos TI.

Este portafolio de servicios implica, como mínimo, los siguientes tipos de activos tecnológicos en operación: terminales de consulta y estaciones de trabajo, servidores de aplicaciones web (catálogo en línea, repositorio), licencias de software de gestión bibliotecaria, suscripciones a bases de datos internacionales, equipos de red (switches, puntos de acceso inalámbrico), sistemas de videovigilancia y control de acceso, y dispositivos de digitalización. La dispersión y heterogeneidad de este inventario, unida a la rotación constante de usuarios, configura un escenario en el que la gestión informal ya no resulta suficiente.

Diagnóstico de Brechas

Tras contrastar la realidad operativa de la Biblioteca UPAO con las exigencias internacionales de la norma ISO/IEC 19770-1, saltan a la vista cinco nudos críticos que requieren atención inmediata.

El primer gran obstáculo es la falta de un inventario centralizado que se mueva al ritmo de la organización; la práctica común en la región sigue siendo el uso de hojas de cálculo estáticas, las cuales quedan obsoletas rápidamente frente a los cambios de hardware o el vencimiento de licencias (InvGate, 2026).

A esto se suma un fenómeno silencioso pero costoso: la subutilización de las suscripciones digitales. Aunque la universidad invierte en robustas herramientas SaaS [11], se aprovecha apenas una fracción de su capacidad real, un escenario del cual la Biblioteca UPAO y sus múltiples bases de datos no están exentas.

Por otro lado, operar sin auditorías periódicas de software eleva el riesgo de incumplimiento legal por el uso inadvertido de versiones no autorizadas o desactualizadas. Esta situación se agrava al notar que la mesa de ayuda responde de forma reactiva. Al no contar con una base de datos de gestión de configuraciones (CMDB) que conecte los incidentes con dispositivos específicos, el soporte técnico termina dependiendo del ”saber hacer” acumulado del personal, dilatando los tiempos de respuesta. Finalmente, el ciclo de vida de los equipos se encuentra desdibujado; no existen protocolos estandarizados para el descarte de hardware que aseguren tanto la destrucción irreversible de datos institucionales como el manejo responsable de los residuos electrónicos.

MODELO ITAM PROPUESTO PARA LA BIBLIOTECA UPAO

El modelo que se propone a continuación toma como referencia el estándar ISO/IEC 19770-1, los principios de ITIL 4 y la evidencia disponible sobre implementaciones exitosas de ITAM en instituciones de educación

superior. Se estructura en cuatro fases secuenciales pero iterativas, en consonancia con el principio de mejora continua que caracteriza a ambos marcos.

Fase I: Inventario y Clasificación de Activos

El punto de partida de cualquier programa ITAM es conocer con exactitud qué activos existen. Para la Biblioteca UPAO, esta fase contempla el levantamiento exhaustivo de todos los elementos hardware, software y de red mediante herramientas de descubrimiento automático —preferiblemente integradas con el sistema ERP institucional— y la validación manual in situ. Cada activo deberá quedar registrado en una CMDB con al menos los siguientes atributos: identificador único, tipo de activo, fabricante y modelo, fecha de adquisición, valor de compra y depreciación acumulada, estado operativo, usuario o unidad asignada, y fecha de expiración de garantía o licencia.

La clasificación debe seguir una taxonomía tripartita: activos de infraestructura (servidores, equipos de red, terminales), activos de software (sistemas instalados localmente, licencias perpetuas, suscripciones SaaS) y activos de datos (repositorios, bases de datos propias). Esta diferenciación facilita la asignación de responsabilidades y la definición de políticas específicas por tipo de activo.

Fase II: Gestión Contractual y de Licencias

La segunda fase aborda el núcleo financiero del ITAM: el control de los contratos y licencias vinculados a los activos TI. En el caso de la Biblioteca UPAO, esto incluye las suscripciones a bases de datos internacionales, las licencias de software de gestión bibliotecaria, los contratos de mantenimiento de hardware y los acuerdos de nivel de servicio (SLA) con proveedores de conectividad.

Se propone la creación de un repositorio contractual centralizado con alertas automáticas de vencimiento configuradas con 90, 60 y 30 días de anticipación. Complementariamente, deberá establecerse un proceso de revisión semestral del uso efectivo de cada suscripción, a fin de identificar licencias subutilizadas susceptibles de cancelación o renegociación. La experiencia de Washington University, que lanzó en julio de 2022 un programa ITAM precisamente para capturar con exactitud los costos y riesgos del ciclo de vida tecnológico y maximizar el valor de su estrategia tecnológica [12], ilustra que este tipo de control contractual puede generar ahorros significativos incluso en instituciones con presupuestos robustos.

Fase III: Monitoreo Continuo y Gestión de la Configuración

El inventario inicial pierde valor si no se mantiene actualizado. La tercera fase introduce los mecanismos de monitoreo continuo que permiten mantener la CMDB sincronizada con el estado real del entorno TI. Para la

Biblioteca UPAO se recomienda la implementación de una herramienta de gestión de activos —preferiblemente de código abierto o con licencia educativa— que integre descubrimiento automático de red, gestión de incidentes y seguimiento de cambios en un único panel de control.

Esta fase también contempla la integración del ITAM con la práctica de Gestión de Incidentes de ITIL 4: al vincular cada ticket de soporte con el activo causante, se construye un historial de confiabilidad por dispositivo que informa decisiones de reemplazo preventivo. El resultado práctico es una reducción de los tiempos de inactividad del servicio —críticos en una biblioteca que opera con atención personalizada— y una base de evidencias objetivas para justificar inversiones ante la dirección universitaria.

Fase IV: Mejora Continua y Maximización del Valor

La cuarta fase cierra el ciclo ITAM con un proceso de evaluación periódica de la madurez del programa. Se propone adoptar el modelo de cuatro niveles de la ISO/IEC 19770-1 —desde el nivel "Registro de confianza" hasta el nivel "Optimizado"— como escala de referencia, con el objetivo de alcanzar el nivel 2 ("Prácticas de gestión de activos robustas") en el primer año de implementación y el nivel 3 ("Integración del ciclo de vida de los activos") al término del segundo año.

Los indicadores clave de desempeño (KPI) propuestos para cada fase se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Indicadores Clave de Desempeño del Modelo ITAM Propuesto para la Biblioteca UPAO

Fase	**KPI Principal**	**Meta Año 1**
I – Inventario	% de activos catalogados	$\geq 95\,\%$
II – Contratos	Licencias subutilizadas identificadas	Reducción $\geq 20\,\%$
III – Monitoreo	MTTR (tiempo medio de resolución)	< 4 horas
IV – Mejora	Nivel de madurez ISO 19770-1	Nivel 2

Nota. Elaboración propia con base en ISO/IEC 19770-1 [13] e ITIL 4 [9].

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Beneficios Esperados para la Comunidad Orreguiana

Adoptar el modelo ITAM descrito no es simplemente un ejercicio burocrático; su impacto real se mide en la calidad del servicio que experimenta cada estudiante, docente e investigador que acude a la Biblioteca UPAO.

En primer lugar, un inventario preciso reduce los tiempos de inactividad de los equipos de consulta, porque permite anticipar las fallas y programar mantenimientos preventivos. En segundo lugar, la optimización del gasto en licencias libera recursos que pueden redirigirse hacia la adquisición de nuevas bases de datos o la mejora del ancho de banda —factores directamente perceptibles por el usuario final—.

En tercer lugar, la integración con ITIL 4 formaliza la mesa de servicio como punto único de contacto para reportar incidencias tecnológicas, lo que profesionaliza la atención y genera datos sobre los problemas más frecuentes. Esta información, analizada periódicamente, permite identificar patrones de falla e implementar soluciones definitivas en lugar de parches recurrentes. El estudio de Díaz-Benítez et al. [6] en Chiclayo demostró que una gestión estructurada de incidentes bajo ITIL reduce significativamente la percepción negativa del usuario respecto al servicio TI, lo que refuerza la pertinencia del modelo propuesto para un contexto similar como el de la UPAO.

Consideraciones para la Implementación

Toda implementación de ITAM enfrenta resistencias organizacionales predecibles. En el entorno universitario, donde los departamentos operan con considerable autonomía, uno de los principales obstáculos es la fragmentación del gobierno de TI: cada facultad o unidad tiende a gestionar sus propios activos de forma independiente. Superar esta fragmentación requiere un mandato institucional claro —idealmente respaldado por la Dirección de Tecnologías de la Información de la UPAO— que establezca la Biblioteca como unidad piloto y los estándares ITAM como política aplicable a toda la universidad.

Otro factor crítico es la elección de las herramientas. Para una institución sin ánimo de lucro con presupuesto ajustado, opciones de código abierto como GLPI (Gestionnaire Libre de Parc Informatique) o Snipe-IT ofrecen funcionalidades suficientes para las Fases I y II del modelo sin incurrir en costos de licenciamiento. La Fase III, que demanda descubrimiento automático de red y monitoreo en tiempo real, podría resolverse con herramientas igualmente accesibles como OCS Inventory NG o Zabbix. Conforme el programa madure y alcance los niveles superiores de la ISO/IEC 19770-1, podrá evaluarse la migración a plataformas comerciales con mayor integración nativa.

Finalmente, la sostenibilidad del modelo depende de la formación continua del personal. El personal bibliotecario, aunque altamente capacitado en gestión de información, suele carecer de formación específica en gestión de activos TI. Un plan de capacitación de 40 horas —estructurado en módulos sobre fundamentos ITAM, uso de la CMDB y lectura de indicadores de desempeño— constituiría una inversión de alto retorno en el mediano plazo.

Limitaciones del Estudio y Líneas Futuras

El presente artículo tiene un alcance propositivo y se basa en fuentes documentales y diagnósticos situacionales indirectos; no incluye datos primarios obtenidos mediante encuestas o entrevistas al personal de la Biblioteca UPAO. Esta limitación implica que las estimaciones de brecha y los KPI propuestos deberán ajustarse una vez que se realice un diagnóstico in situ detallado.

Entre las líneas de investigación futura que se desprenden de este trabajo cabe destacar tres. La primera es el diseño e implementación efectiva del modelo en la Biblioteca UPAO, con medición rigurosa de los indicadores propuestos antes y después de la intervención. La segunda es la extensión del modelo a otras bibliotecas universitarias de la región La Libertad, para generar un patrón de implementación replicable a escala regional. La tercera es la evaluación del impacto del ITAM en la satisfacción del usuario, variable que la literatura existente en el contexto latinoamericano aún no ha documentado con suficiente profundidad en entornos bibliotecarios.

CONCLUSIONES

El análisis presentado permite arribar a las siguientes conclusiones. Primero, la Biblioteca Central de la UPAO cuenta con un portafolio de servicios TI suficientemente complejo —bases de datos internacionales, repositorio institucional, mediateca digital y múltiples terminales de consulta— como para justificar plenamente la adopción de un programa formal de gestión de activos de TI.

Segundo, el modelo ITAM propuesto, articulado en cuatro fases y fundamentado en la ISO/IEC 19770-1 y los principios de ITIL 4, ofrece una ruta de implementación progresiva que es factible para una institución con recursos limitados, siempre que cuente con el respaldo institucional de la Dirección de TI de la UPAO.

Tercero, los beneficios proyectados —reducción del gasto en licencias subutilizadas, disminución de los tiempos de resolución de incidentes y mejora de la calidad percibida del servicio— están respaldados por evidencia empírica proveniente de contextos similares en el norte del Perú y en instituciones de educación superior a nivel internacional.

Cuarto, y quizás más importante, implementar ITAM en la Biblioteca UPAO no es un fin en sí mismo: es un medio para honrar el compromiso institucional de poner la tecnología al servicio de la comunidad orreguiana, garantizando que cada sol invertido en infraestructura digital se traduzca en valor real para quienes estudian, investigan y aprenden en esta casa de estudios.

En definitiva, la gestión del patrimonio tecnológico de una biblioteca universitaria no puede seguir siendo un

asunto relegado a la improvisación. El modelo ITAM propuesto ofrece la estructura necesaria para que la Biblioteca UPAO transite de una administración reactiva de sus activos TI a una gestión proactiva, basada en datos, orientada al valor y alineada con los estándares internacionales más exigentes.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su reconocimiento a la Escuela de Ingeniería de Computación y Sistemas de la UPAO por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación, y al personal de la Biblioteca Central por la información institucional facilitada.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara no tener conflicto de intereses en relación con el presente artículo.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Herrera Payano Jhonatan Andres: Investigación, Metodología, Escritura – revisión y edición.

Pelaez Roque Alexander Jan Pool: Investigación, Metodología, Escritura – revisión y edición.

Referencias

[1] Universidad Privada Antenor Orrego, “Biblioteca: servicio moderno y de calidad,” 2023. [Online]. Available: https://upao.edu.pe/noticia/biblioteca-calidad/

[2] Universidad Privada Antenor Orrego, “Servicios de la Biblioteca Central,” 2023. [Online]. Available: https://upao.info/biblioteca/

[3] SUNEDU, “Registro de universidades licenciadas,” Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria, 2024. [Online]. Available: https://www.sunedu.gob.pe/lista-de-universidades-licenciadas/

[4] IBM, “¿Qué es la gestión de activos de TI (ITAM)?” IBM Think Blog, 2024. [Online]. Available: https://www.ibm.com/es-es/think/topics/it-asset-management

[5] Wikipedia, “Universidad Privada Antenor Orrego,” En Wikipedia, la enciclopedia libre, 2025. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Universidad_Privada_Antenor_Orrego

[6] Díaz-Benítez, R., Quispe-Chávez, M., and Torres-Sánchez, L., "ITIL4 y su impacto en la gestión del nivel de servicios de TI en una institución pública de Chiclayo, 2023," Tesis de maestría, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Repositorio Institucional UNPRG, 2024. [Online]. Available: https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/13283

[7] ServiceNow, "¿Qué es IT Asset Management (ITAM)?" 2024. [Online]. Available: https://www.servicenow.com/es/products/it-asset-management/what-is-itam.html

[8] LabStats, "Higher education IT asset management: A strategic necessity in the digital campus era," 2025. [Online]. Available: https://legacystories.org/storyboard/entry/higher-education-it-asset-management-a-strategic-necessity-in-the-digital-campus-era

[9] AXELOS, *ITIL Foundation: ITIL 4 edition.* TSO (The Stationery Office), 2019. [Online]. Available: https://www.axelos.com/certifications/itil-service-management/itil-4-foundation

[10] Logicalis, "ITIL 4 como modelo de gobernanza y aliado en el viaje de transformación digital de las empresas," 2024. [Online]. Available: https://www.la.logicalis.com/es/perspectivas/press-release/itil-4-como-modelo-de-gobernanza-y-aliado-en-el-viaje-de-transformacion

[11] CloudEagle, "IT asset management in higher education: Tracking SaaS and IT assets across campuses," 2025. [Online]. Available: https://www.cloudeagle.ai/blogs/it-asset-management-in-higher-education

[12] Washington University IT, "IT Asset Management Program," 2022. [Online]. Available: https://it.wustl.edu/asset-management-program/

[13] ISO/IEC, "ISO/IEC 19770-1:2017: Information technology — IT asset management — Part 1: IT asset management systems — Requirements," International Organization for Standardization, 2017.

[14] InvGate, "Gestión de activos de TI – ITAM," 2026. [Online]. Available: https://invgate.com/es/guides/itam

[15] itSMF España, "ISO 19770: una gran familia de normas para la gestión de activos de TI," 2021. [Online]. Available: https://news.itsmf.es/iso-19770-una-gran-familia-de-normas-para-la-gestion-de-activos-de-ti/

[16] ITWorks4Humans, "ITIL v4 en la gestión de servicios TI: casos de uso y resultados," 2025. [Online]. Available: https://itworks4humans.com/itil-v4/

Revista Innovación y Software
Vol. 7, No. 2, Mes Septiembre - Febrero, 2026
ISSN: 2708-0935
Pág. 18-26
https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Tipo de artículo: Artículos cortos
Temática: Inteligencia artificial
Recibido: 28/07/2026 | Aceptado: 27/08/2026 | Publicado: 30/09/2026

Identificadores persistentes:
DOI: 10.48168/innosoft.s30.a388
ARK: ark:/42411/s30.a388

La neurona artificial y el perceptrón simple: implementación desde cero y sus límites frente al problema XOR

The artificial neuron and the simple perceptron: implementation from scratch and its limitations against the XOR problem

Kris Ximena Colquehuanca Zapana[1][0009-0004-2666-3598]*, **Nilver Wilfredo Flores Pacco**[2][0009-0003-1436-4884]

[1]Facultad de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano - Puno. Av. Floral 1153, Ciudad Universitaria, Puno, Perú. 75453117@est.unap.edu.pe
[2]Facultad de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano - Puno. Av. Floral 1153, Ciudad Universitaria, Puno, Perú. nilwillflo749@gmail.com

*Autor para correspondencia: 75453117@est.unap.edu.pe

Resumen
El perceptrón simple constituye la unidad de cómputo fundamental de las redes neuronales artificiales y el punto de partida histórico del aprendizaje automático conexionista. El objetivo de este trabajo fue implementar un perceptrón desde cero, empleando únicamente la biblioteca NumPy y sin recurrir a marcos de aprendizaje profundo, con el fin de comprender su funcionamiento interno: la suma ponderada de las entradas, la función de activación escalón y la regla de aprendizaje por corrección de error. Se entrenó el modelo sobre las compuertas lógicas AND, OR y XOR, y se evaluó su exactitud mediante la comparación entre las salidas predichas y las esperadas. Los resultados mostraron que el perceptrón aprendió correctamente las compuertas AND y OR, alcanzando una exactitud del 100 %, dado que ambas son linealmente separables; en cambio, falló en la compuerta XOR, con una exactitud del 50 %, pues sus clases no pueden separarse mediante una sola recta, incluso al incrementar el número de épocas. Se comprobó así, de forma empírica, la frontera entre los problemas que el perceptrón simple puede y no puede resolver. Esta limitación estructural, documentada históricamente, motivó el desarrollo de las redes neuronales multicapa, lo que evidencia la relevancia del perceptrón como base conceptual del aprendizaje profundo actual.

Palabras claves: función de activación, neurona artificial, perceptrón, separabilidad lineal, problema XOR.

Abstract
The simple perceptron is the fundamental computing unit of artificial neural networks and the historical starting point of connectionist machine learning. The aim of this work was to implement a perceptron from scratch, using only the NumPy library and without resorting to deep learning frameworks, in order to understand its inner workings: the weighted sum of inputs, the step activation function, and the error-correction learning rule. The model was trained on the AND, OR, and XOR logic gates, and its accuracy was evaluated by comparing the predicted outputs with the expected ones. The results showed that the perceptron correctly learned the AND and OR gates, reaching 100 % accuracy, since both are linearly separable; in contrast, it failed on the XOR gate, with 50 % accuracy, because its classes cannot be separated by a single straight line, even when the number of epochs was increased. The decision boundaries learned for AND and OR were also visualized, confirming

that the perceptron only draws a straight separation line. This empirically confirmed the boundary between the problems that a simple perceptron can and cannot solve. This structural limitation, historically documented, motivated the development of multilayer neural networks, which highlights the relevance of the perceptron as a conceptual basis of current deep learning and as an essential step for understanding more complex architectures.

Keywords: *activation function, artificial neuron, linear separability, perceptron, XOR problem.*

Introducción

Las redes neuronales artificiales constituyen uno de los pilares de la inteligencia artificial moderna. Su unidad básica, la neurona artificial, se inspira en el funcionamiento simplificado de las neuronas biológicas: recibe varias señales de entrada, las combina de forma ponderada y produce una salida cuando la combinación supera un umbral. El primer modelo matemático formal de este comportamiento fue propuesto por McCulloch y Pitts [1], quienes demostraron que redes de unidades lógicas simples podían representar funciones proposicionales. Posteriormente, Rosenblatt [2] introdujo el perceptrón, incorporando una regla de aprendizaje capaz de ajustar automáticamente los pesos a partir de ejemplos, lo que lo convirtió en el primer modelo entrenable de clasificación.

El perceptrón simple resulta importante porque encapsula las ideas centrales del aprendizaje supervisado: representar el conocimiento en pesos, medir el error frente a una salida esperada y corregir esos parámetros de forma iterativa. Comprenderlo es un prerrequisito para entender arquitecturas más complejas, como el perceptrón multicapa o las redes convolucionales que hoy dominan tareas de visión y lenguaje [3]. Sus aplicaciones son amplias; por ejemplo, en ingeniería civil se emplean para predecir el comportamiento de estructuras y materiales [4].

El problema que aborda este trabajo es doble. Por un lado, se busca mostrar de forma transparente cómo aprende un perceptrón, implementándolo sin marcos de trabajo especializados; por otro, se pretende evidenciar su limitación fundamental. El perceptrón solo puede resolver problemas linealmente separables, es decir, aquellos en que una única recta o hiperplano basta para separar las clases. La compuerta lógica XOR constituye el contraejemplo clásico: sus clases no son separables por una recta, y el fracaso del perceptrón ante ella impulsó históricamente el desarrollo de las redes multicapa. El objetivo de este artículo es desarrollar la técnica, implementarla en Python y verificar de forma empírica esa frontera entre lo que el perceptrón puede y no puede aprender.

Revista Innovación y Software
Vol. 7, No. 2, Mes Septiembre - Febrero, 2026
ISSN: 2708-0935
Pág. 18-26
https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft

Materiales y métodos

Inspiración biológica y modelos precursores. Las redes neuronales artificiales fueron diseñadas tomando como referencia el funcionamiento del cerebro humano. Cada neurona biológica recibe información por las dendritas, la procesa en el soma y, cuando el estímulo supera cierto umbral, envía una señal por el axón hacia otras neuronas [5]. A partir de ese comportamiento se construyó un modelo computacional simplificado en el que las entradas representan los estímulos, los pesos simulan la intensidad de las conexiones sinápticas y una función de activación determina si la neurona responde. La Figura 1 ilustra esta analogía y la estructura resultante de la neurona artificial.

El primer modelo formal, de McCulloch y Pitts [1], operaba sobre entradas binarias con pesos fijos: sumaba las entradas y las comparaba con un umbral, emitiendo 1 si lo superaba y 0 en caso contrario; su limitación era que no podía aprender. Rosenblatt [2] superó esa restricción con el perceptrón, cuyo modelo se esquematiza en la parte derecha de la Figura 1.

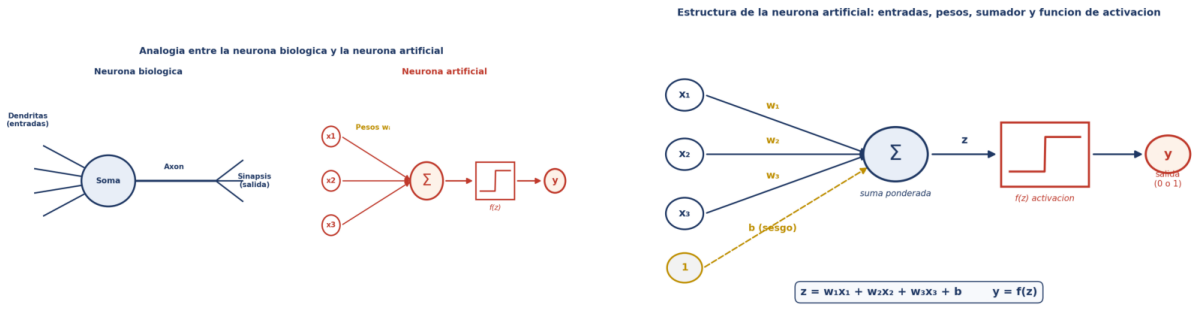


Figura 1. Analogía biológica (izquierda) y estructura de la neurona artificial: entradas, pesos, sumador, activación y salida (derecha). Elaboración propia.

Modelo de la neurona artificial. Una neurona con n entradas calcula una suma ponderada $z = w_1x_1 + w_2x_2 + \ldots + w_nx_n + b$, donde w_i son los pesos y b es el sesgo. Esta suma pasa por una función de activación que determina la salida. En el perceptrón clásico se emplea la función escalón, que devuelve 1 si $z \geq 0$ y 0 en caso contrario. Además del escalón, existen otras funciones de activación de uso extendido en redes modernas, como la sigmoide, la tangente hiperbólica y la ReLU [6], que se comparan en la Figura 2.

Revista Innovación y Software
Vol. 7, No. 2, Mes Septiembre - Febrero, 2026
ISSN: 2708-0935
Pág. 18-26
https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft

Figura 1. Funciones de activacion

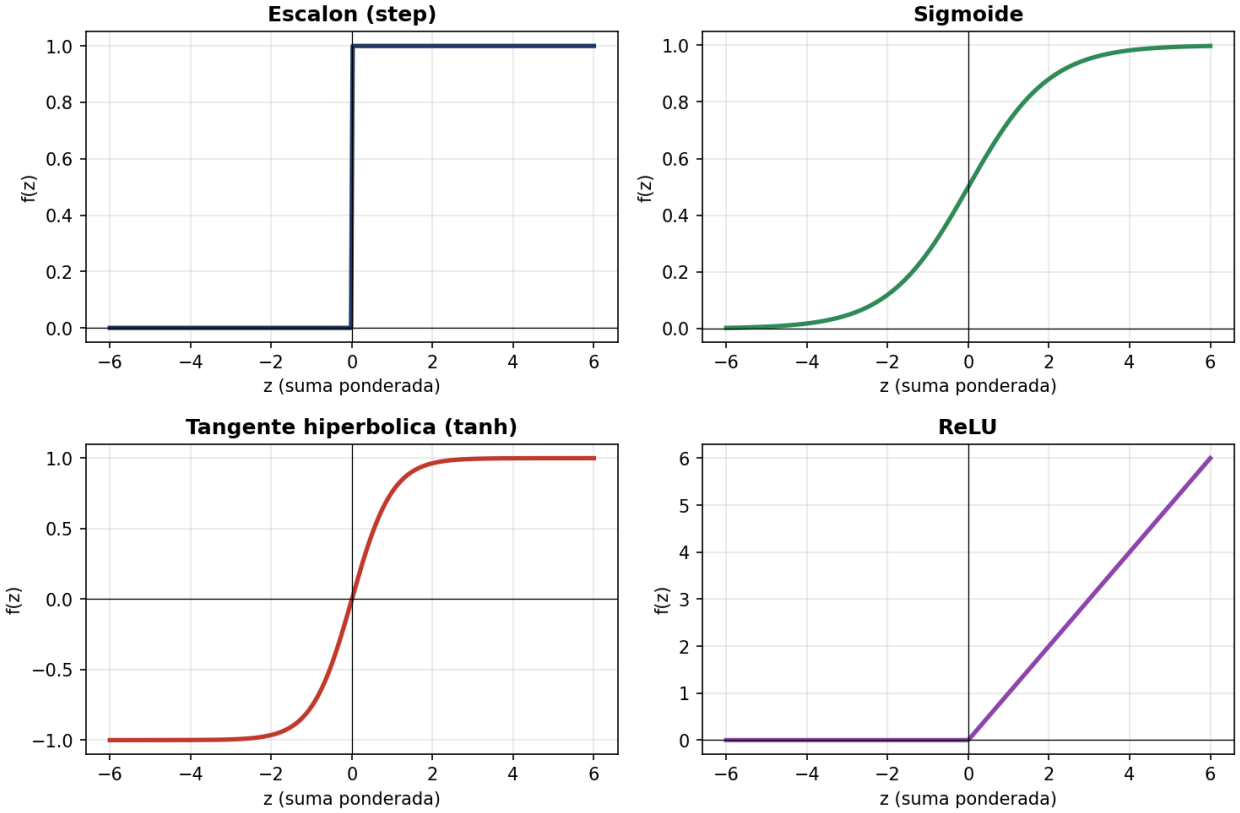


Figura 2. Funciones de activación: escalón, sigmoide, tangente hiperbólica y ReLU. Elaboración propia.

Regla de aprendizaje por corrección de error. El perceptrón ajusta sus pesos comparando la salida predicha con la esperada. Para cada ejemplo, la actualización se realiza según la Ecuación 1, donde η es la tasa de aprendizaje, d la salida esperada, y la salida obtenida y x_i el valor de la entrada. Si la predicción es correcta, no hay cambio; si es incorrecta, los pesos se desplazan en la dirección que reduce el error.

$$w_i \leftarrow w_i + \eta(d - y)x_i \tag{1}$$

Datos y herramientas. Se utilizaron las cuatro combinaciones de entrada de dos bits y las salidas de las compuertas AND, OR y XOR como conjunto de entrenamiento. La implementación se realizó en Python 3 sobre Google Colab, empleando únicamente NumPy y Matplotlib, sin marcos de aprendizaje automático. Se

fijó una semilla para la reproducibilidad, una tasa de aprendizaje de 0,1 y 10 épocas para AND y OR, y 50 para el experimento con XOR.

Resultados y discusión

Compuertas AND y OR. El perceptrón aprendió ambas compuertas sin error. Para AND, los pesos convergieron a $w_1 = 0{,}20$, $w_2 = 0{,}10$ y $b = -0{,}20$, estabilizándose a partir de la tercera época; para OR, a $w_1 = 0{,}10$, $w_2 = 0{,}10$ y $b = -0{,}10$. En ambos casos la exactitud fue del 100 %. En la Figura 3 se muestra la frontera de decisión aprendida para AND: una recta que separa correctamente las salidas 0 de las salidas 1.

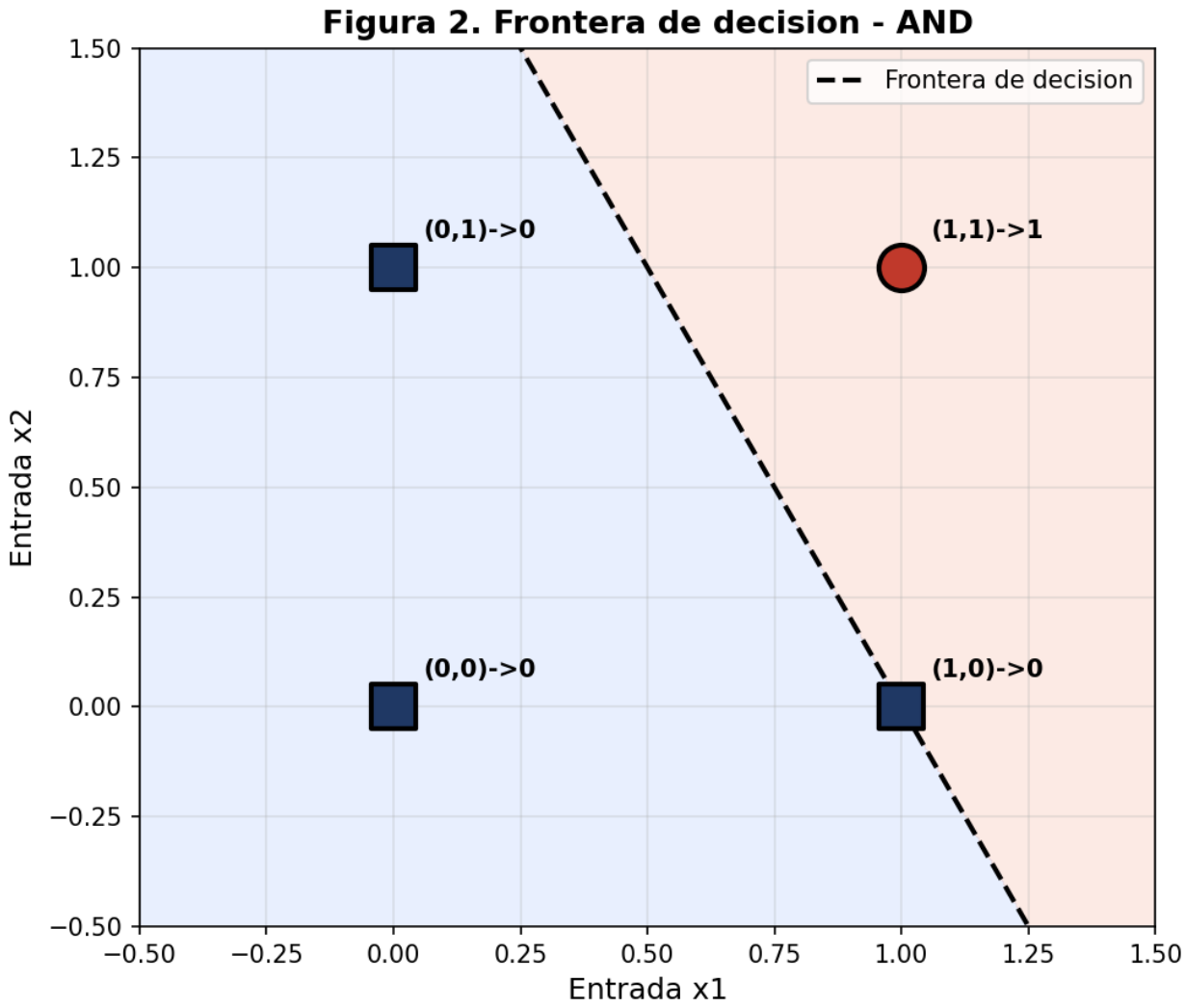


Figura 3. Frontera de decisión aprendida para la compuerta AND. Elaboración propia.

El problema XOR. Al entrenar el perceptrón sobre la compuerta XOR durante 50 épocas, el modelo no logró superar el 50 % de exactitud, y el número de correcciones por época nunca descendió a cero, lo que indica que el algoritmo no converge. En la Figura 4 se ilustra la causa: los cuatro puntos de XOR no pueden separarse mediante una sola recta, pues las salidas positivas ocupan esquinas opuestas del cuadrado unitario. Se comprobó además que el aumento del número de épocas no modifica este resultado, lo que confirma que la limitación es estructural y no un problema de ajuste.

Figura 4. Limitacion del perceptron: el problema XOR

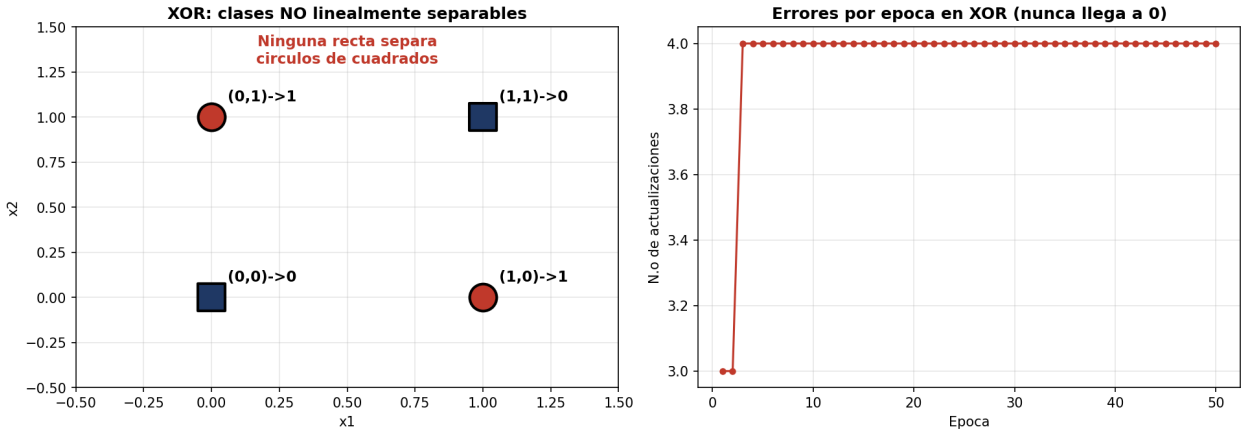


Figura 4. El problema XOR: las clases no son linealmente separables y el error nunca llega a cero. Elaboración propia.

Resumen comparativo. En la Tabla 1 se sintetizan los resultados obtenidos para las tres compuertas lógicas evaluadas.

Tabla 1. Desempeño del perceptrón simple por compuerta lógica.

Compuerta	**Exactitud**	**¿Separable?**	**Resultado**
AND	100 %	Sí	Aprendida
OR	100 %	Sí	Aprendida
XOR	50 %	No	Falla

Los resultados confirman empíricamente el alcance y el límite del perceptrón simple. Su éxito con AND y OR y su fracaso con XOR ilustran el concepto de separabilidad lineal: el perceptrón solo traza una frontera recta, por lo que únicamente resuelve problemas cuyas clases admiten esa separación. La limitación no es de ajuste de hiperparámetros, sino estructural, pues ninguna tasa de aprendizaje ni número de épocas resuelve XOR. Esta barrera motivó históricamente la incorporación de capas ocultas y del algoritmo de retropropagación [7], que dan origen al perceptrón multicapa. Como aplicación regional, un clasificador lineal simple podría apoyar tareas de decisión binaria con pocas variables en el Altiplano puneño, aunque el experimento con XOR advierte que las relaciones no lineales requieren arquitecturas más expresivas.

Conclusiones

El perceptrón simple aprende con exactitud perfecta las compuertas linealmente separables AND y OR, pero es incapaz de resolver la compuerta XOR, cuya exactitud se mantiene en 50 % con independencia del número de épocas. Este hallazgo, reproducido desde cero con NumPy, permite comprender tanto el mecanismo de aprendizaje por corrección de error como la razón histórica y matemática por la que las redes neuronales evolucionaron hacia arquitecturas multicapa. El trabajo constituye una base conceptual clara para el estudio del aprendizaje profundo. Como trabajo futuro se propone implementar un perceptrón multicapa que resuelva XOR y evaluar clasificadores lineales sobre datos reales del contexto altoandino.

Contribución de Autoría

Kris Ximena Colquehuanca Zapana: Conceptualización, Metodología, Software, Validación, Redacción del borrador original. Nilver Wilfredo Flores Pacco: Investigación, Análisis formal, Curación de datos, Visualización, Escritura, revisión y edición.

Referencias

[1] W. S. McCulloch and W. Pitts, "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity," *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 5, no. 4, pp. 115–133, 1943, doi: 10.1007/BF02478259.

[2] F. Rosenblatt, "The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain," *Psychological Review*, vol. 65, no. 6, pp. 386–408, 1958, doi: 10.1037/h0042519.

[3] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, "Gradient-based learning applied to document recognition," *Proceedings of the IEEE*, vol. 86, no. 11, pp. 2278–2324, 1998, doi: 10.1109/5.726791.

[4] F. J. Valderrama-Purizaca, D. A. Chávez-Barturen, S. P. Muñoz-Pérez, V. A. Tuesta-Monteza, and H. I. Mejía-Cabrera, "Importance of artificial neural networks in civil engineering: a systematic review of the literature," *ITECKNE*, vol. 18, no. 1, pp. 71–83, 2021, doi: 10.15332/iteckne.v18i1.2542.

[5] W. Zamora-Cárdenas, M. Zumbado, and I. Trejos-Zelaya, "McCulloch-Pitts artificial neuron and Rosenblatt's perceptron: An abstract specification in Z," *Technology Inside*, no. 5, pp. 16–29, 2020. [Online]. Available: https://revista.cpic.or.cr/technology-inside/article/view/19

[6] V. Nair and G. E. Hinton, "Rectified linear units improve restricted Boltzmann machines," in *Proc. 27th International Conference on Machine Learning (ICML)*, Haifa, Israel, 2010, pp. 807–814. [Online]. Available: https://icml.cc/Conferences/2010/papers/432.pdf

[7] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, and R. J. Williams, "Learning representations by back-propagating errors," *Nature*, vol. 323, no. 6088, pp. 533–536, 1986, doi: 10.1038/323533a0.

Artículos Originales

Revista Innovación y Software
Vol. 7, No. 2, Mes Septiembre - Febrero, 2026
ISSN: 2708-0935
Pág. 28-49
https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Tipo de artículo: Artículos originales
Temática: Inteligencia artificial. Redes y seguridad informática
Recibido: 29/05/2026 | Aceptado: 14/07/2026 | Publicado: 30/09/2026

Identificadores persistentes:
DOI: 10.48168/innosoft.s30.a369
ARK: ark:/42411/s30.a369

Una Variante Reducida del Esquema Salsa20 Ruidoso Aleatorio con Rendimiento Mejorado

A Reduced Variant of the Random Noisy Salsa20 Scheme with Improved Performance

Edgar Rangel Lugo[1][0000-0002-9611-8323]*, **Kevin Uriel Rangel Ríos**[2][0009-0001-7029-7183], **Cinthya Maybeth Rangel Ríos**[3][0009-0007-3503-5157], **Leticia Roque Correa**[4][0009-0006-3913-0816], **Simón Marcelo Peñaloza**[5][0009-0008-7122-8340], **César Del Ángel Rodríguez Torres**[6][0000-0001-9198-4372], **Aracely Salgado Mendoza**[7][0009-0002-6247-0991], **Mauricio De La Cruz Ramos García**[8][0009-0002-5381-908X]

[1]Tecnológico Nacional de México. I.T. de Ciudad Altamirano. Av. Pungarabato Ote. S/N, Col. Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. erangel_lugo@hotmail.com
[2]Tecnológico Nacional de México. I.T. de Ciudad Altamirano. Av. Pungarabato Ote. S/N, Col. Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. kgvppro@gmail.com
[3]Tecnológico Nacional de México. I.T. de Ciudad Altamirano. Av. Pungarabato Ote. S/N, Col. Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. maybethrangelrios@gmail.com
[4]Tecnológico Nacional de México. I.T. de Ciudad Altamirano. Av. Pungarabato Ote. S/N, Col. Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. leticia.rc@cdaltamirano.tecnm.mx
[5]Tecnológico Nacional de México. I.T. de Ciudad Altamirano. Av. Pungarabato Ote. S/N, Col. Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. simon.mp@cdaltamirano.tecnm.mx
[6]Tecnológico Nacional de México. I.T. de Ciudad Altamirano. Av. Pungarabato Ote. S/N, Col. Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. cesardelangel.rt@cdaltamirano.tecnm.mx
[7]Tecnológico Nacional de México. I.T. de Ciudad Altamirano. Av. Pungarabato Ote. S/N, Col. Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. aracely.sm@cdaltamirano.tecnm.mx
[8]Tecnológico Nacional de México. I.T. de Ciudad Altamirano. Av. Pungarabato Ote. S/N, Col. Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. mauriciodelacruz.rg@cdaltamirano.tecnm.mx

*Autor para correspondencia: erangel_lugo@hotmail.com

Resumen
Los métodos de cifrado dinámico, pueden mitigar algunos riesgos financieros derivados de la pérdida de datos al generar múltiples textos cifrados por cada texto plano. En este trabajo aplicamos estrategias aleatorias ruidosas (random noisy) y reducidas ruidosas (reduced noisy), como alternativas para mejorar el esquema de cifrado: random noisy Salsa20, un área no estudiada previamente. Los esquemas ruidosos aleatorios (random noisy) pueden mejorar la seguridad de datos digitales pero incrementan la sobrecarga de almacenamiento. Proponemos Salsa20 ruidoso reducido (reduced noisy Salsa20), una variante que incorpora el camuflaje de texto cifrado para resolver esta limitación. El método se evaluó frente a el estándar de Salsa20 y la alternativa ruidosa aleatoria: random noisy Salsa20. Los resultados muestran una reducción del tamaño del texto cifrado de hasta 33 % y una mayor eficiencia de almacenamiento en disco, sin pérdida de rendimiento dinámico. Este equilibrio hace que el esquema sea viable para organizaciones que implementan Salsa20. El enfoque ruidoso reducido (reduced noisy) mantiene la seguridad frente al criptoanálisis y reduce los costos de almacenamiento. Este artículo detalla el algoritmo, la configuración experimental y la comparación de rendimiento, introduciendo

Revista Innovación y Software
Vol. 7, No. 2, Mes Septiembre - Febrero, 2026
ISSN: 2708-0935
Pág. 28-49
https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft

reduced noisy Salsa20, como una alternativa eficiente de cifrado dinámico.

Palabras claves: Aplicaciones de criptografía, cifrado de datos dinámico, reducción del cifrado dinámico ruidoso.

Abstract
Dynamic encryption methods can mitigate financial risks from data loss by generating multiple ciphertexts per plaintext. We apply the reduced noisy and random noisy strategies to enhance Salsa20 scheme, an area not previously studied. Random noisy strategies can improve digital data security but increase storage overhead. We propose reduced noisy Salsa20, a variant that incorporates ciphertext camouflaging to address this limitation. The method was evaluated against standard Salsa20 and random noisy Salsa20. Results show a ciphertext size reduction of up to 33 % and improved disk storage efficiency, with no loss of dynamic performance. This balance makes the scheme viable for organizations deploying Salsa20. The reduced noisy approach maintains security against cryptanalysis while lowering storage costs. This paper details the algorithm, experimental setup, and performance comparison, introducing the reduced noisy Salsa20 as an efficient dynamic encryption alternative.

Keywords: *Applications of cryptography, dynamic encryption methods, reduced noisy injection strategies.*

Introduction

A cybersecurity strategy [1]- [3], is deemed insufficient if any of its methods is susceptible to cyberattacks [4]- [8] leading to theft of sensitive digital data [8]- [9]. In practice, this results in substantial financial losses for organizations [4]- [5], [8], [10]- [11]. Typical cases [12]- [17] involve phishing, fraudulent calls, and financial scams targeting social networking platforms, banking systems, large markets, energy networks, and e-commerce [4]- [5]. Three main strategies address digital data theft: Regular updates of cybersecurity strategies [4], *dynamic encryption* methods [5], and *noisy injection* strategies on ciphertext [5]- [7], [9]- [10], which have shown promise in practical domains. This study focuses on encryption methods [8] that utilize *random noisy* and *reduced noisy* strategies [5]- [7].

Data encryption converts plaintext (Si) to ciphertext (Ci). Decryption is the reverse process [8]- [10], [14], [18]. These methods compute statistics or mathematical equations to transform plaintext into ciphertext, decipherable only by authorized entities [8], [10]- [11]. Here, Si denotes original input data and Ci the encrypted output. An encryption method is *dynamic* if it produces unique results for the same plaintext input each time, *static methods* produce identical outputs [8]. *Symmetric algorithms* use a single secret key, whereas *asymmetric algorithms* use a private-public key pair [8]. *Asymmetric algorithms* include *RSA (Rivest-Shamir-Adleman)* [3], [5]- [6], [8], [13]- [14], [19]- [27], *ECC (Elliptic Curve Cryptography)* [5]- [6], [8], [19]- [23], [28]- [31], and *ElGamal* [13], [19]- [21], among others. These *asymmetric algorithms* have shown *dynamic encryption* results [5], [8], [11]. *Symmetric algorithms* include *DES (Data Encryption Standard)* [3], [13]- [14], [22]- [23], [27], [32]- [33], *3DES* or *TripleDES (Triple Data Encryption Standard)* [14], [21]- [23], [34], *Blowfish* [22]- [23], [35]- [38], *Salsa20* [2], [38], *ChaCha20* [38]- [39], *GOST (GOsudarstvennyy STandart)* [6], and *AES*

(Advanced Encryption Standard) [13], [21]- [23], [26]- [27], [40]- [41], to mention a few. Some studies [5], [8], reveal that *symmetric algorithms* often report *static* ciphertext results. This does not imply all are vulnerable schemes [5].

Dynamic encryption methodologies offer an alternative for increasing noisy and redundant information in *ciphertext* outputs [4]- [5], [9]- [11]. Therefore, *noisy injection* strategies are recommended as an encryption measure [5]- [7]. *Noisy injection* means that *plaintext* or *ciphertext* contains additional ASCII or UTF-8 characters not part of the original message, which achieve camouflaging or a special operation with the *plaintext* or *ciphertext* as an obfuscation measure. A key *hypothesis* is that this scheme can create confusion for *cybercriminals* [5], [8]. *Noisy injection* strategies utilize *random methods* with or without replacement. These methodologies can be employed in AI-based intelligent models [42]- [55], like *genetic algorithms* (*GAs*) [1], [9]- [10], [16]- [17], [56]- [62], *Monte Carlo (MC1)* [59], and *artificial neural networks* [57], [63]- [64], to mention few. Several authors have explored AI-based *cryptography* alternatives [1]- [4], [8], [10]- [11], [14], [16]- [17], [24], [27], [48]- [50], [60]- [62]. For a comprehensive review of AI applications in *cryptography*, see [1], [3], [16], [24], [27], [48]- [49], [50], [58], [60]- [62].

In this context, *noisy injection* strategies [4]- [11] group into several categories. First, *pseudo-hexadecimal* format is used. The *"Noised" random pseudo-hexadecimal GAs* and *"Noised" random pseudo-hexadecimal* without *GAs* methodologies were presented in [9], [10]. Later, *four dynamic* alternatives based on a *pseudo-hexadecimal* schema, known as *noisy random pseudo-hexadecimal* strategies, were presented in [8]. Their goal is to confuse *cybercriminals* by injecting noise using a novel *pseudo-hexadecimal* format. Second, AI-based *noisy injection* combines with the *nearest neighbor (1-NN)* rule [46]- [47], [65]- [67]. The "*Noised" random 1-NN* with *hexadecimal* encoding was introduced in [11]. Similarly, combining *"Noised" random pseudo-hexadecimal* format with *1-NN* was explored in [68]. These *pseudo-hexadecimal* schemes were limited to *plaintext* applications and its implementation is based on *Windows* [69] plataforms with *Python* [70] language, as well as *Android* [71] environment, using *PyDroid3* [72]. Both cases, *Python's encryption* libraries [73]- [75] were employed. Third, *random Caesar II mod 120* [4]- [7], [11], and *reduced random Caesar mod 105* [4] are utilized for *noisy injection* and *camouflaging text*, applied to *plaintext* [4]- [5], [11], and *ciphertext* [5]- [7] obtained through *standard encryption* algorithms. These methods are referred to as the *random noisy* and *reduced noisy* strategies [5]- [7], respectively.

The purpose of the *reduced* scheme is to camouflage and reduce *ciphertext* size by at least one-third. Studies on *pseudo-hexadecimal* and *random noisy* approaches show that *double noisy injection* on *ciphertext* outputs improves data safety, though it sacrifices disk storage space [8]. Reference [5] presents eight strategies integrating the *random noisy* approach with *standard encryption*: *random noisy DES*, *random noisy 3DES, random noisy RC4, random noisy Blowfish, random noisy WEP, random noisy AES, random noisy RSA-2048,* and *random*

noisy ECIES SECP-256-R1. Similarly, *random noisy GOST (R 34.12-2015)* was proposed in [6], and *random noisy Camellia* in [7]. Studies regarding *random noisy* implementations for *Salsa20, AES-256, ChaCha20*, and *CAST-128* were reported in [2], [5], [76]- [78]. Moreover, references [79] and [80] explore an improved *random noisy IDEA-128* scheme and analyze the *asymmetric random noisy RSA* algorithm, respectively. These approaches integrate standard ciphers with *noisy injection* techniques based on *random Caesar II mod 120* [4]- [5]. Various *reduced noisy* strategies [4]- [5], [77] have proven effective at obfuscating *ciphertext* [4]- [5], such as combining *reduced random Caesar mod 105* [5], [77], with conventional algorithms. Reference [5] details eight specific strategies: *reduced noisy DES, reduced noisy 3DES, reduced noisy RC4, reduced noisy Blowfish, reduced noisy WEP, reduced noisy AES-256, reduced noisy RSA-2048*, and *reduced noisy ECIES SECP-256-R1*. Finally, additional research on *ciphertext* camouflaging via *reduced noisy AES-256* can be found in [4] and [77].

Random Caesar and *reduced random Caesar* [4]- [5] are based on *traditional Caesar* [4], [9], [13]- [14]. They stand out because they enable *dynamic encryption* [5]. *Traditional Caesar* uses a fixed shifting value K, given by Ci = Si + K *mod 26* [13]- [14]. *Random Caesar* and *reduced random Caesar* utilize varying shifting values Ki for each character Si, chosen randomly with replacement: Ci = Si + Ki *mod N*, where N =105 for *reduced random Caesar* and N =120 for *random Caesar II*. Here, *mod N* indicates the *encryption alphabet* size and the maximum value in vector Ki [4], [6], [9], [11]. With N = 95 (*random Caesar II* version 1), *ASCII* characters from *space (32)* to *'˜' (126)* are used. N = 120 (*random Caesar II* version 2) covers 30 to 150 in the *ASCII* table. N = 105 (*reduced random Caesar*) corresponds to selected *ASCII* characters with a range of 0 to 105 (variant version 1) and 0 to 135 (variant version 2). A novel variant with a range of 30 to 105 for *ASCII* characters has only been applied to the *reduced noisy CAST-128* [81]. For different N values *(random Caesar I)*, Ki falls between 0 and N . *Random Caesar* and *reduced random Caesar* include a second phase [5] to confuse attackers, calculating the final package as RandomFinalPackage = Ci & Ki & OrdChr(Ci), or ReducedFinalPackage = Ci & Char(Ki), where & denotes concatenation, Char(Ki) returns the *ASCII* character for value Ki, and OrdChr(Ci) appends character Ci when N =120 or converts it to its *ordinal* value depending on the mode. The *reduced random Caesar* and *random Caesar II mod 120* have been employed as randomness mechanisms in [4]- [5], [7]. Applying *random Caesar II mod 120* to *ciphertext* is known as the *random noisy* strategy, whereas applying *reduced random Caesar* to *ciphertext* is known as the *reduced noisy* strategy. Both approaches combine standard encryption with *noisy injection* into *ciphertext*.

We assessed the *random noisy* strategy utilizing *standard symmetric* algorithm *Salsa20*. A novel alternative, *reduced noisy Salsa20*, was developed and is introduced in this study. This research explores *reduced noisy* and *random noisy* schemes in *cybersecurity*, specifically applying *noisy injection* to *ciphertext* from *standard algorithm* to potentially deceive *cybercriminals* [8]. The scope covers two situations. First, evaluating standard algorithm *Salsa20* as a *static encryption* scheme to facilitate comparison with related work [5]- [7]. Second, as-

sessing the proposed *random Caesar* and *reduced random Caesar* variants on *ciphertext* as *dynamic encryption* schemes to demonstrate improvements in randomness and security over traditional methods. Thus, *random noisy Salsa20* and *reduced noisy Salsa20* were developed as comparative benchmarks for *random noisy* and *reduced noisy* strategies, respectively. These approaches were previously assessed using five-fold *cross-validation*, employing a novel *modification* [4]- [5], [10]. This work expresses performance in terms of *global average* or *accuracy* [46]- [47], [65]- [66].

We present findings of an extensive project investigating digital data theft, including experimental results. The study analyzed cases where inadequate *static encryption* caused security concerns. Experiments focused on replacing *static encryption* with *reduced noisy* and *random noisy* strategies as *dynamic* alternatives [4]. Several *ciphertext* exemplars from *random noisy* and *reduced noisy* schemes are shown here. Based on observations, *noisy injection* on *ciphertext* output is recommended due to excellent performance as a *dynamic encryption* indicator. This paper introduces *reduced noisy Salsa20*, a novel *dynamic encryption* approach. We compare it against *random noisy Salsa20* and the *standard Salsa20* cipher. The study is motivated by the scarce research on *reduced noisy Salsa20* and the absence of documented vulnerabilities to *cyberattacks*.

Computational methodology

The implementation of *static encryption* algorithms as a substitute for current *cybersecurity* measures fails to ensure adequate data protection. In this context, a *dynamic encryption* strategy is proposed [4]. To address the issue of data theft, this study assesses two *dynamic* approaches utilizing *random noisy* and *reduced noisy* alternatives [4]- [5]. The present work is characterized as *experimental* and *exploratory*, given that it presents an innovative solution based on a modified *random noisy Salsa20* scheme incorporating *reduced noisy Salsa20* proposal, which is introduced herein for the first time.

The present research required *hardware*, *software*, and *data* resources. Experimental evaluations were executed on a personal computer configured with a 2 GHz CPU, 4 GB of *RAM*, and 32 GB of storage capacity. *Software* development for the *standard Salsa20* algorithm and its innovative *random noisy* and *reduced noisy* approaches [5] was performed in a *Windows 10* environment [69] using *Python 3* [70]. Furthermore, to ensure consistency with literature [5]- [7], trials were extended to a mobile platform running *Android 9* [71] and *PyDroid3* [72]. The analysis demonstrated comparable performance across both environments.

The *datasets* consisted of *training samples (TS)* [6]- [7], [46]- [47], [65], comprising 1000 randomly generated exemplars. Each entry is defined by five features. The data includes *encryption* and *decryption* parameters, such as the *ciphertext* (Ci) represented by the pair (Test1, Test2), along with metrics like *encryption time* (TC), *decryption time* (TD), *error rate*, and class *label*. The pattern follows the format TP = [(Test1, Test2),

TC, TD, Error, Label], enabling direct comparison with existing literature [5]- [7].

Table 1 presents two *ciphertext* examples for the *label* '▓Welcome▓?'. This *label* represents the *plaintext* (Si), simulating a *password* and containing noise characters '▓' and '?' (ordinal values 9619 and 65533, respectively). *Encryption* and *decryption* times were measured in milliseconds, while TC, TD, and Error rate were stored as double-precision values. The *encryption* process transforms the *plaintext* into a *ciphertext* tuple: (Test1, Test2), and computes TC, revealing the *dynamic* behavior of the output. Similarly, TD is recorded during the *decryption* phase. All data, including *times* and *error* rates, is stored in the *TS* following a standardized structure. The *error* rate is calculated based on character mismatches. If the resulting *ciphertext* does not correspond correctly to the original *plaintext* (Si), the Error value represents the proportion of incorrect characters. Both *plaintext* and *ciphertext* are encoded as character sequences using *ASCII* or *UTF-8*, with a maximum length of 255 characters.

This information was restructured using a *modified cross-validation* techniques [4]- [7]. The updated format was then applied individually to each encryption strategy. To facilitate result analysis, *Table 1* presents the *arithmetic mean* and *standard deviation* obtained for the *plaintext* '▓Welcome▓?'. Finally, distinct *datasets* were generated for each algorithm, including those implementing *random* noisy and *reduced noisy* strategies.

The first strategy involved the use of the *standard symmetric encryption* algorithm: *Salsa20*. This method was tested as a *static encryption* scheme applied directly to the *plaintext*, allowing for comparison with findings reported in existing literature [5]- [7]. The experiments were conducted on five *training samples* using a *modified cross-validation* approach [4]- [5], evaluating each algorithm individually. The *standard encryption* algorithm was implemented in *Python* [70] using libraries such as *Cryptography* [73] and *PyCryptodome* [74]- [75], which were installed and subsequently imported into the source code as follows: from Crypto.Cipher import Salsa20. In the case of *ciphertext* produced by the *Salsa20* algorithm, the computation source-code is: from Crypto.Cipher import Salsa20 ; Si = ''.join([chr(9619), 'W', 'e', 'l', 'c', 'o', 'm', 'e', chr(9619), chr(65533)]) ; Key = "00000000000000000000000000000001" ; Num = 32 ; Nonce = "00000001" ; PlainText = Si.encode() ; A = Salsa20.new ; Mode = None ; Ci = ((A(Key.encode() , Nonce.encode())).encrypt(PlainText)).hex(); print(Ci). Where: A refers to the specific algorithm instance. Key, the encoded *secret key*. Mode, a valid operational mode for the algorithm. Nonce, a valid value specific to the *Salsa20* algorithm. The PlainText is encoded Si, while encrypt() returns a *ciphertext* object. Num, the maximum number of bytes allowed in the sequence. Ci is the *ciphertext* and hex() function that converts byte values into their *hexadecimal* string representation.

Second adopted approach involves the separate application of *random noisy* and *reduced noisy* schemes [5] for *dynamic encryption*. Reference [4] highlights these methods as suitable solutions for enhancing output random-

ness. Following the framework in [5], the noise layers were applied to the results of standard algorithms. This work presents *random noisy Salsa20* and *reduced noisy Salsa20* as innovative contributions. Implementation was performed in *Python* [70]. The tests involved combining the *standard Salsa20* ciphertext with noise generators, specifically *random Caesar II mod 120* and *reduced random Caesar mod 105*, applied independently. This setup ensures valid comparison with previous studies [5]- [7].

Each *encryption algorithm* was evaluated individually on the five *TS* using an iterative process with five *cross-validation* repetitions. A modified cross-validation [4]- [5] approach was employed to compute the overall *mean* and *standard deviation* for each strategy. As outlined in [5], the proposed methods involve noise injection into the *ciphertext*. The procedures for calculating the *random noisy* and *reduced noisy* strategies are detailed in [5]- [7], and are computed as follows: RandomNoisyi = Char (Ord (StandardEncryptioni) + Ord(Ki)) & Char (Ki) & Char (StandardEncryptioni), with *mod 120*, and ReducedNoisyi = Char (Ord (StandardEncryptioni) + Ord(Ki)) & Char (Ki), with *mod 105*, respectively.

Replacing the *plaintext* with *ciphertext* streamlined the operation, as demonstrated in [5]. The adjustments to *mod* N = 120 and *mod* N = 105 were implemented because the FinalPackage (RandomNoisyi or ReducedNoisyi) stores only character types. As discussed in [5], various versions of *random noisy* and *reduced noisy* schemes have been explored. In this study, only the *Salsa20* algorithm was used to generate the StandardEncryptioni *ciphertext*, as previously mentioned. Similarly, the *random noisy Salsa20* and *reduced noisy Salsa20* variants were implemented and calculated as follows: RandomNoisySalsai = Char (Ord (StandardSalsaEncryptioni) + Ord(Ki)) & Char (Ki) & Char (StandardSalsaEncryptioni) *mod 120*, and ReducedNoisySalsai = Char (Ord (StandardSalsaEncryptioni) + Ord(Ki)) & Char (Ki) *mod 105*, respectively. Where: The + *operator* denotes the *sum* function, while the & operator represents the *concatenation* function. The *shifting* vector Ki contains random integer values. The StandardEncryptioni parameter refers to the *ciphertext* obtained using a *standard encryption* algorithm, as described in [2], [4]- [5]. Specifically, StandardSalsaEncryptioni corresponds to the *ciphertext* generated by the *Salsa20* algorithm. Each strategy was applied independently. The RandomNoisyi and ReducedNoisyi sequences represent the FinalPackage derived from general *random noisy* and *reduced noisy* strategies, according to [2], [4]- [5]. In contrast, RandomNoisySalsai and ReducedNoisySalsai denote the FinalPackage obtained by applying the *random noisy Salsa20* and *reduced noisy Salsa20*, respectively. The Ord() function returns the *ordinal* value of a character or integer, while the Char() function converts a numerical value into its corresponding character representation using *ASCII* or *UTF-8* encoding.

In the *random noisy* and *reduced noisy* approaches, the *plaintext* is first encrypted using a *standard algorithm*. Subsequently, the *random Caesar II mod 120* and *reduced random Caesar mod 105* transforms are applied separately to the *ciphertext*, adding an extra layer of security [5]- [7]. As highlighted in [5], this method differs from *double encryption* and avoids the repeated use of *standard algorithms*, a practice that could potentially be

exploited by attackers using computational *cryptanalysis*. According to [5], *noisy injection* should be applied selectively to prevent attackers from easily predicting its location. By introducing noise only in specific sections, malicious actors face the complex challenge of locating the modified characters, significantly increasing the difficulty of decryption.

For result evaluation, a *modified cross-validation method* [4]- [7] was implemented to introduce internal bias into the discrimination process, as previously discussed. These findings support the recommendation of using *noisy injection*. Applying *random noisy* or *reduced noisy* schemes, it results in *dynamic ciphertext*, significantly strengthening security protection for organizations [4]- [5].

Results and Discussion

All experiments were conducted using the *training samples (TS)* as previously described. The estimated *error*, *encryption time* (TC), and *decryption time* (TD) were computed separately for each encryption strategy. A *modified* five-fold *cross-validation* method [4]- [5] was employed to ensure direct comparability with existing studies [5]- [7]. According to the literature [7], *traditional cross-validation* [46]- [47], [56], [59], [63], [65]- [67], typically divides the *dataset* into five subsamples (approximately 20 % each). One subset is used for testing *(MC)*, while the remaining four (80 %) form the *training set*. The process is repeated five times to calculate *averages* and *standard deviations* [66]. However, this *traditional* procedure is not directly applicable to *encryption evaluation*, as this research does not involve *model training* or *testing phases*. Instead, the process consists of *encrypting* the *plaintext*, *decrypting* the result, and storing both vectors for comparison of the TP *pattern*. For the *random noisy* and *reduced noisy* strategies, the *encryption* method is applied to the *ciphertext* to generate two *noisy* outputs (Test1 and Test2).

The novel *cross-validation modification* [4]- [5] was updated to adopt an approach that does not rely on the *MC* for assessing *global accuracy* [66]. The *encryption/decryption* process uses this modified method [4]- [7] that omits the evaluation step typically performed with the *test set*. Instead, the Error is computed using four-fifths of the *TS*, sequentially omitting approximately 20 % in each of the five iterations. This schema simulates performance in different scenarios by excluding subsets of data, ensuring convergent results with an optimistic bias (i.e., practical performance is expected to be equal or better) [2], [7]. This approach allows for the assessment of the *estimated error* and other numerical features. If the *decrypted* text does not match the original, the error percentage is calculated based on the proportion of incorrectly decoded characters. As in traditional methods [5], the process is repeated five times, extracting a different subsample each time. This allows calculating the *mean* and *standard deviation* for numerical attributes such as *encryption time* (TC), *decryption time* (TD), and *error* percentage. Since the analysis was performed globally without distinguishing

between classes, as an ambiguity noted during experimentation, class-specific results were not considered. Although this topic could be addressed in future studies, it did not affect the overall *accuracy* of the evaluated strategies.

Consequently, experimentation was limited to two main scenarios. First, the *standard Salsa20* algorithm was compared with its *random noisy* variant. The *Salsa20 static* scheme was analyzed to allow comparison with findings reported in the literature [5]- [7]. Second, the *random noisy* and *reduced noisy* strategies [2], [5] were evaluated using the *ciphertext*, as previously described. Specifically, *random noisy Salsa20* [2] was compared against *reduced noisy Salsa20*, which is introduced here as a novel alternative. These two strategies were tested separately to inject noise into the *ciphertext* following a *dynamic encryption* approach. After processing all samples for each strategy, *global average* results were computed using the *updated cross-validation* method [4]- [7] described above. These results are presented in *Table 1*, with *standard deviations* shown in parentheses. For consistency with previous studies [5], [7], *encryption* and *decryption* times are reported in milliseconds in the columns labeled TC and TD, respectively. The procedure was repeated five times for each method, and the values shown correspond to the *averages* obtained using the *modified cross-validation* approach [5]- [11].

The parameters for *Salsa20* included a 32-bit *secret key* ('00000000000000000000000000000001'), a *nonce* value ('00000001'), and an *operation mode* set to 'None'. Other requirements were defined using default values via the *PyCryptodome* library [74]- [75], with outputs generated in *hexadecimal* format. The *Table 1* presents the calculated *times* and *error* rates, structured to match the formats used in [5], [7]. For the *noisy* strategies, the processes are inherently *random*, meaning they generate different, *dynamic encryption* results even with identical inputs. The table displays *average* times and *deviations*, alongside two *ciphertext* examples (Test1 and Test2) for each strategy. Using the *plaintext* "▒Welcome▒?", experiments occasionally yielded varying results, although the majority were successful.

Compared to *noisy injection* strategies, the *standard symmetric Salsa20* algorithm proved non-substantially faster, achieving speeds between 1.0003 and 1.0201 *times* greater, representing a time difference of 0.0004 to 0.0202 milliseconds. Furthermore, *Salsa20* demonstrated the ability to handle inputs exceeding 255 characters, making it a robust choice when properly validated. Although *Table 1* shows *static* results for the *standard algorithm*, this does not imply that these schemes are inherently vulnerable.

Tabla 1. Performance Metrics: Timing and Error Rates

Encryption Strategies	**TC**	**TD**	**% Error**	**Ci Length**	**Test 1**	**Test 2**
Salsa20 [2]	1.0030 (0.4828)	0.0882 (0.0058)	0 (0)	34	c35d5f4be432 84e385d7773 45fdf61d243	c35d5f4be432 84e385d7773 45fdf61d243
random noisy Salsa20 [2]	1.0232 (0.3491)	0.2717 (0.0311)	0 (0)	102	±N±ºº}H}6{ F{4ÇÇ*©D ©±}±¿¿Ps;s ··ÛvÛW$W³ {³q<qÖrÖˆl 5lÉÉ¦s¦ÅÅj5j* ÇcÇææ··h7h ääl:l[T	Â_ÂzGzhÌhÌ ±|±Á[Á\ãã7 Xo<oo=o»»· ·åån;nk3k]2P ¹¹⁄₄₄ÂÂUc/c¯z ¯ÊdÊ:àzà¬v ¬S£?£QQ_+ _ÁÁ
reduced noisy Salsa20	1.0026 (0.3983)	0.2426 (0.0054)	0 (0)	68	¥Bs@\'£?c² LeËi¨Cin;c1¡i iÎig¡i|G&[$Ng iˆ*c¨B´P²Lq ;i:uCm9S	ÌiX %|GÍiX# ©CuA²P¹Tii if‘,»V‘-¡iL± M i i iUiLÏi0 ÏiieÍiiixE
random Caesar II (mod 120) [5]	0.1461 (0.0108)	0.0518 (0.0011)	0 (0)	30	◕B◕AïïÇ[Ç ¬I¬øøĂĂ±L ±⁑⁑□|□g]g	☀m☀ààÝxÝ¸ L¸´Q´ÝnÝ2 ÓnÓ◓@◓□A □_U_
reduced random Caesar (mod 105) [5]	0.1491 (0.0081)	0.0559 (0.0012)	0 (0)	20	■i¦O+¥9Êg(◁.□hbX	◒?G¿Z-ÌiÔe È[¼W◫X□isi
Average	**0.6648 (0.4224)**	**0.1420 (0.0953)**	**0.0 (0.0)**	**50.8 (30.2681)**	**- - - -**	**- - - -**

Notably, the *random Caesar II* and *reduced random Caesar* approach applied directly to *plaintext* achieved an excellent balance. Specifically, *random Caesar II* with *mod 120* significantly improved encryption times.

Experiments yielded an *average encryption* time of just 0.1461 ms (± 0.0108) and *decryption time* of 0.0518 ms (± 0.0011), while *reduced random Caesar* with *mod 105* yielded an *average encryption time* of 0.1491 ms (± 0.0081) and *decryption time* of 0.0559 ms (± 0.0012). Regarding to reduce storage spacing disk. When applied to *ciphertext*, the *reduced noisy Salsa20* strategy–which combines *standard Salsa20* with *reduced random Caesar mod 105*–outperformed all other approaches evaluated on *ciphertext*. It consistently delivered the most balanced results. Compared to *random noisy Salsa20*, the novel *reduced noisy Salsa20* alternative showed speed improvements from 1.0205 *times* faster, with time differences from 0.0206 ms. Interestingly, the performance gap between *standard Salsa20* and its *noisy* variants was relatively small. For instance, *traditional Salsa20* is only 1.0201 *times* faster, a marginal difference of 0.0202 ms. Both variants supported the maximum input length of 255 characters without generating errors, which significantly increases confidence in their performance. However, it is important to note that experiments were limited to this length, and further testing is required. Each *encryption strategy* was evaluated using independently designed samples.

The *reduced random Caesar* scheme has proven effective in enhancing data security [4]- [5], [9], [11], and the *reduced noisy* strategy has demonstrated similar efficacy. *Table 1* confirms this behavior in the *global averages*. Notably, the *random noisy* alternative produces slightly longer *ciphertexts*, whereas the *reduced noisy* strategy compresses the data to approximately one-third of the original storage size. Both strategies generate *dynamic ciphertexts* that vary with each execution. However, as shown in *Table 1* (Test1 and Test2), the time required to generate the FinalPackage *ciphertext* was longer compared to *standard algorithms*. Consequently, execution times for *standard Salsa20* were shorter than for its *noisy* variants. These schemes present significant obstacles for potential attackers, who would need to determine each random Ki shift value beforehand, information that remains hidden. *Decryption* becomes even more complex when using the PartialNoisy proposal, a novel partial *noisy injection* scheme introduced in [5]. Such complexity makes unauthorized data discovery extremely challenging. The exploration of PartialNoisy was beyond the scope of this study and is suggested as a direction for future research.

Repeated application of these strategies yields more *dynamic* and secure results compared to *static* methods. These alternatives effectively increase the security level of both *plaintext* and *ciphertext*, thereby enhancing organizational data protection [5]. Nevertheless, the resilience of these schemes against specific *cyberattacks* remains to be fully evaluated. Comparing our findings with [4]- [5], the *reduced random mutation* method [5] appears to be an effective indicator of improved security.

This scheme achieves a balance between efficiency and security, producing short *ciphertexts* and fast processing times, while the Ki shifting applied to partial data ensures robust protection. According to [5], *mutation* strategies can mitigate the risk of data theft by introducing substantial noise (double) into the *ciphertext*. Consequently, approaches based on *reduced* randomness and *mutation* scheme show great promise [5]. However,

this study focuses on other methods, leaving *mutation*-based alternatives for future investigation. The *aims* and *hypotheses* were successfully fulfilled. Specifically, *reduced noisy Salsa20* is presented here as a novel *noisy injection* proposal that enables *dynamic encryption* and reduces *ciphertext* size to approximately one-third. It generates varying outputs even with identical inputs and parameters, effectively misleading potential attackers. These findings are supported by the data presented in *Table 1.*

Comparing *standard algorithms* with *reduced noisy* strategies suggests that *noisy injection* is a promising approach for organizations seeking enhanced security. This is particularly relevant where *traditional Salsa20* is already implemented, as the novel *reduced noisy Salsa20* can be easily integrated. According to [2], [5], Implementing a noisy scheme is recommended to strengthen data protection, offering organizations a reliable solution and opening new possibilities for improving digital security. Furthermore, modifications to the *dynamic encryption* methodology presented here warrant further exploration. By employing *reduced random mutation* scheme [4]- [5], *ciphertext* size in the FinalPackage can be significantly reduced–up to 33 %–compared to *random noisy* proposals. Other potential avenues include different *noisy injection* methods, particularly those combining simultaneous randomness with *artificial intelligence* using the *nearest neighbor* rule [8], [10]- [11], [46]- [47], [65], [67] and *pseudo-hexadecimal* encoding [8]- [10]. This indicates a wide range of opportunities for future research.

Conclusions

Regular updates to *cybersecurity* strategies are vital, yet they do not inherently guarantee absolute data protection. As noted in the literature [4], [8], well-known or inadequate *encryption* methods become vulnerable over time. To address this challenge, various *dynamic* approaches have been proposed [4]- [11]. This paper introduces a novel *noisy injection* strategy, termed *reduced noisy Salsa20*, which combines *standard encryption* with a *reduced random Caesar* cipher, specifically designed for practical organizational use. Moreover, we evaluated two *dynamic encryption* alternatives that utilize *noisy* strategies, to inject noise into *ciphertext* through *random methods*. The proposed methodology successfully overcomes limitations found in *standard algorithm*, offering a robust defense against cyber threats. Experimental results confirm that the *objectives* and *hypotheses* were successfully met. The *reduced noisy Salsa20* strategy generates *dynamic ciphertexts*, being compressing until one-third, producing variable outputs even with identical inputs, thereby increasing security and performance compared to traditional methods (see Table 1). Future work will focus on reducing size and *camouflaging ciphertext*, through *reduced random mutation* [5] schemes, as well as integrating *noisy injection* techniques with *artificial intelligence* and *pseudo-hexadecimal* [8]- [10] encoding, offering promising avenues for further research.

Acknowledgment

This work was partially supported by the Tecnológico Nacional de México (I.T. Ciudad Altamirano, project 24321, pending approval).

Contribución de Autoría

Edgar Rangel Lugo: Investigation, Methodology, Project administration, Software, Validation. **Kevin Uriel Rangel Ríos:** Conceptualization, Investigation, Software, Validation, Writing – review & editing. **Cinthya Maybeth Rangel Ríos:** Investigation, Validation, Writing – review & editing. **Leticia Roque Correa:** Investigation, Supervision. **Simón Marcelo Peñaloza:** Investigation, Validation. **César Del Ángel Rodríguez Torres:** Investigation. **Aracely Salgado Mendoza:** Validation. **Mauricio De La Cruz Ramos García:** Investigation.

Referencias

[1] B. Delman, "Genetic Algorithms in Cryptography," M.S. thesis [Thesis for the Degree of Master of Science in Computer Engineering], Department of Computer Engineering, Rochester Institute of Technology, RIT Scholar Works, Rochester, New York, 2004.(https://scholar.google.com.mx/scholar_url?url=https://repository.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi%3Farticle%3D6460%26context%3Dtheses&hl=es&sa=X&ei=cbaZZoadNt246rQPnd604AU&scisig=AFWwaeaMfCM5ORUFQN6DU4LA3aEG&oi=scholarr, 23/03/2024).

[2] E. Rangel, K. U. Rangel, C. A. Bernal, L. González, C. A. Rodríguez, L. J. Ascencio, and R. I. Reynoso, "A Case Study of the Salsa20 Encryption Algorithm Using Random Noisy Injection Enhanced by Artificial Intelligence," Revista Innovación y Software – Innovation and Software Journal (ULASALLE), vol. 6, no. 2, pp. 134-158, Sep. 2025, doi: 10.48168/innosoft.s24.a317. (https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft/article/view/317/413, 30/09/2025).

[3] J.C. Mendoza, "Demostración De Cifrado Simetrico Y Asimétrico," [Universidad Politécnica Salesian. Cuenca, Ecuador. ISSN: 1390-650X], Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología, núm. 3, 2008, pp. 46-53. (http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=505554806007, 09/11/2024).

[4] E. Rangel and K.U. Rangel, "Novel Random Encryption Methods Based On Mutation Strategies Of Artificial Intelligence," SPCSJ: Scientific and Practical Cyber Security Journal [Published by Scientific Cyber Security Association in Tbilisi, Georgia], ISSN: 2587-4667, vol. 8, no. 3, pp. 84-91, septem-

ber issue 2024. (https://journal.scsa.ge/papers/novel-random-encryption-methods-based-on-mutation-strategies-of-artificial-intelligence/, 05/11/2024).

[5] E. Rangel, K.U. Rangel, and L. González, "Dynamic Encryption Methods Based On Noisy Injection And Camouflaging Ciphertext Strategies With Artificial Intelligence," SPCSJ, Scientific and Practical Cyber Security Journal [Published by Scientific Cyber Security Association in Tbilisi, Georgia, ISSN: 2587–4667], vol. 9, no. 1, pp. 82-104, march issue 2025. (https://journal.scsa.ge/papers/dynamic-encryption-methods-based-on-noisy-injection-and-camoufla ging-ciphertext-strategies-with-artificial-inte lligence/, 23/04/2025).

[6] ——, "Inyección De Ruido Para Encriptado De Datos Dinámico Con Inteligencia Artificial. Caso De Estudio: Algoritmo GOST R 34.12-2015," Revista Electrónica de Divulgación de la Investigación del SABES [Revista de la universidad del SABES, Editada por Sistema Avanzado de Bachillerato y Educación Superior en el Estado de Guanajuato. México, ISSN: 2007-3542], vol. 29, pp. 11-36, edición junio — 2025. (https://sabes.edu.mx/revista-electronica/28/docs/2_inyeccion_de_ruido.pdf, 01/08/2025).

[7] E. Rangel and K.U.Rangel, "Mejorando la seguridad del algoritmo Camellia, mediante la inyección de ruido sobre textos cifrados utilizando procesos basados en inteligencia artificial," INTELETICA, Revista de Inteligencia Artificial, Ética y Sociedad [Edited & Published by IBERAMIA, Iberoamerican Society of Artificial Intelligence – Sociedad Iberoamericana de Inteligencia Artificial in Valencia, España, ISSN: 3020-7444], vol. 2, no. 4, pp. 75-101, september 2025. DOI: https://doi.org/10.4114/INTELETICA.vol2iss4pp75-101. (https://inteletica.iberamia.org/index.php/journal/article/view/45, 03/09/2025).

[8] E. Rangel, K.U. Rangel, L. González, A. Ortiz, and C.A. Rodríguez, "Four Dynamic Encryption Alternatives With Artificial Intelligence Based On Pseudo-Hexadecimal Noisy Injection Schema For Handling The Theft Of Digital Data Problem," SPCSJ, Scientific and Practical Cyber Security Journal [Edited by SCSA - SPCSJ - BOAI, Published by Scientific Cyber Security Association in Tbilisi, Georgia, e-ISSN: 2587-4667], vol. 9, no. 3, pp. 59-77, june 2025, https://journal.scsa.ge/issue/june-2025/, (https://journal.scsa.ge/papers/four-dynamic-encryption-alternatives-with-artificial-intelligence-based-on-pseudo-hexadecimal-noisy-injection-schema-for-handling-the-theft-of-digital-data-problem/, 27/07/2025).

[9] E. Rangel, K.U. Rangel, J. Medrano, C.A. Bernal, and L. González, "Algoritmo Genético Para Cifrado De Datos, Basado En Un Nuevo Concepto Pseudo-Hexadecimal Con Inteligencia Artificial," Tecnológico Nacional De México, Instituto Tecnológico de Ciudad Altamirano, Sexto (VI) Congreso Nacional De Investigación En Ciencia E Innovación De Tecnologías Productivas, Cd. Altamirano, Estado De Guerrero, México. Noviembre, 2023. (https://www.cdaltamirano.tecnm.mx/index.php/17-vi-congreso-nacional-de-investigacion-en-ciencia-e-innovacion-de-tecnologias-productivas/140-tecnm-40, 23/03/2024).

[10] E. Rangel, K.U. Rangel, and L. González, "Cifrado De Datos Dinámico Con Inteligencia Artificial, Utilizando El Nuevo Formato Pseudo-Hexadecimal," Revista Electrónica de Divulgación de la Investigación del SABES [Revista de la Universidad del SABES, Editada por Sistema Avanzado de Bachillerato y Educación Superior en el Estado de Guanajuato. México, ISSN: 2007-3542], vol. 28, pp. 46-73, edición diciembre 2024. (https://sabes.edu.mx/revista-electronica/27/docs/4_Cifrado%20de_Datos_Dinamico.pdf , 17/12/2024).

[11] E. Rangel and K.U. Rangel, "La Regla Del Vecino Más Cercano Como Alternativa Para Inyectar Ruido A Mensajes Encriptados Por El Algoritmo: Noised Random Hexadecimal," INTELETICA, Revista de Inteligencia Artificial, Ética y Sociedad [Editado por IBERAMIA, Iberoamerican Society of Artificial Intelligence – Sociedad Iberoamericana de Inteligencia Artificial, España, ISSN: 3020-7444], vol. 1, num. 2, Dec. 2024, pp. 1–15, doi: https://doi.org/10.4114/INTELETICA.vol1iss2pp1-15, (https://inteletica.iberamia.org/index.php/journal/article/view/16, 16/12/2024).

[12] D. Álvarez, "Algunos Aspectos Jurídicos Del Cifrado De Comunicaciones," Derecho PUCP [Pontificia Universidad Católica del Perú], núm. 83, 2019, pp. 241-264, 2019. DOI: https://doi.org/10.18800/derechopucp.201902.008, (http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=533662765008, 09/11/2024).

[13] F. Barranco and C. Galindo, "Criptografía básica y algunas aplicaciones," Universidad Jaume I, Departamento de Matemáticas, Castellón, España, octubre, 2022. URI: http://hdl.handle.net/10234/ 201359, (https://repositori.uji.es/items/35da2f29-ee4a-4dbc-a82f-c450a81cf9be,13/04/2025).

[14] S. Gómez, J.D. Arias, and D. Agudelo, "Cripto-Análisis Sobre Métodos Clásicos De Cifrado," Scientia Et Technica, [Universidad Tecnológica de Pereira Pereira, Colombia, ISSN: 0122-1701, Año: XVII], vol. 2, no. 50, pp. 97-102, abril 2012, DOI: https://doi.org/10.22517/23447214.6681, (https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6681, 16/04/2025).

[15] B. Javidi and J.L. Horner, "Optical Pattern Recognition for Validation and Security Verification," Optical Engineering [ISSN: 0091-3286], vol. 33, issue: 6, pp. 1752-1756, june, 1994, DOI: https://doi.org/10.1117/12.170736,(https://www.spiedigitallibrary.org/journals/optical-engineering/volume-33/issue-6/0000/ Optical-pattern-recognition-for-validation-and-security-verification /10.1117/12.170736.short, 14/ 04/2025).

[16] B. Reddaiah, "A Study on Genetic Algorithms for Cryptography," International Journal of Computer Applications, [Department of Computer Applications, Yogi Vemana University Kadapa, A.P, India, ISSN: 0975-8887], vol. 177, no. 28, pp. 1-4, december, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.5120/ijca2019919509, (https://www.researchgate.net/publication/338012809_A_Study_on_Genetic_Algorithms_for_Cryptography, 23/03/2024).

[17] C. Sebas, "¿Qué son los Algoritmos Genéticos en las Inteligencias Artificiales?" Manuales y Tutoriales de Informatica, 2023. (https://aprendeinformaticas.com/ia/, 23/03/2024).

[18] S. Paul, P. Dasgupta, P. K. Naskar, and A. Chaudhuri, "Secured image encryption scheme based on DNA encoding and chaotic map," Review Of Computer Engineering Studies, [IIETA: International Information and Engineering Technology Association, ISSN: 2369-0755, e-ISSN: 2369-0763], vol. 4, no. 2, pp. 70-75, june issue, 2017. DOI: 10.18280/rces.040206, (https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://iieta.org/sites/default/files/Journals/RCES/04.02_06.pdf&ved=2ahUKEwjVlYfordOMAxVVLUQIHXknBWsQFnoECB4QAQ&usg=AOvVaw3yvem4PsuKbMM9009owuAJ, 12/04/2015).

[19] R. Oppliger, "Contemporary cryptography," 1ra. ed., Artech House Computer Security Library, [Boston/London, ISBN: 1-58053-642-5, 978-8189265038], 510p, 2005. (https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://theswissbay.ch/pdf/Gentoomen%2520Library/Cryptography/Contemporary%2520Cryptography%2520-%2520Rolf%2520Oppliger.pdf&ved= 2ahUKEwiT1tm1xNWMAxUAmO4BHWYLNa0QFnoECBoQAQ&usg=AOvVaw3GvxLI6QzJhvEXqcl9efPz, 13/04/2025).

[20] D.R. Stinson and M.B. Paterson, "Cryptography: Theory and Practice," (4ta ed.). Chapman and Hall Book/CRC Press [Taylor & Francis Group, ISBN: 978-1-1381-9701-5], 2019. (https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.ic.unicamp.br/~rdahab/cursos/mo421-mc889/Welcome_files/Stinson-Paterson_CryptographyTheoryAnd Practice-CRC %2520Press %2520 %25282019 %2529.pdf&ved=2ah UKEwi8_euUtdWMAxWzh-4BHShGAaQQFnoECCUQAQ&usg=AOv Vaw1DCBGkDbaZMeHuyR45xZZC, 13/04/2025).

[21] H.C.A. Van-Tilborg, "Encyclopedia Of Cryptography And Security," TUE Research portal. Springer, pp. 114-115, 201-202, 2005. DOI: https://doi.org/10.1007/0-387-23483-7, (09/11/2024).

[22] L. Baklaga, "Leading The Way In Quantum-Resistant Cryptography For Everyday Safety," SPCSJ, Scientific and Practical Cyber Security Journal [Scientific Cyber Security Association (SCSA).Tbilisi, Georgia, ISSN: 2587-4667], vol. 8, no. 3, pp 65-73, issue 2024. (https://journal.scsa.ge/papers/leading-the-way-in-quantum-resistant-cryptography-for-everyday-safety/, 23/03/2025).

[23] R. Bavdekar, C. Eashan-Jayant, A. Ankit, and K. Tiwari, "Post Quantum Cryptography: A Review of Techniques, Challenges, and Standardizations," In 2023 International Conference on Information Networking (ICOIN), 2023.

[24] Q.H. Dang and H.Q. Le, "Improved cryptanalysis of the RSA algorithm using side-channel attacks," Journal of Information Security and Applications, vol. 65, no. 103313, 2022.

[25] D. Luciano and G. Prichett, "Cryptology: From Caesar Ciphers To Public-key Cryptosystems," The College Mathematics Journal, vol. 18, pp. 2-17, 1987. (http://www.jstor.org/stable/2686311, 06/06/2025).

[26] M.S. Rahman and M.S. Hossain, "A Secure Private Key Cryptography Scheme Using RSA and AES," Journal of Cybersecurity, 1(1), 2021, pp. 1-9.

[27] J. Rodríguez, "Operadores Genéticos Aplicados A La Criptografía Simétrica," [Proyecto De Grado], Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Facultad De Ingeniería. Ingeniería De Sistemas. Bogotá, Colombia, 2020. (https://repository.udistrital.edu.co/ handle/11349/28192, 06/05/2024).

[28] M. Baker and J. Schiller, "ECIES: Elliptic Curve Integrated Encryption Scheme," In Cryptography and Network Security, Springer, pp. 245-263, 2015. (https://medium.com/asecuritysite-when-bob-met-alice/elliptic-curve-integrated-encryption-scheme-ecies-encrypting-using-elliptic-curves-dc8d0b87eaa, 23/03/2025).

[29] D. Hankerson, J.L. Hernandez, and A.J. Menezes, "Software implementation of elliptic curve cryptography over binary fields," Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2000, [K. Ko¸c and C. Paar (Eds.) – CHES 2000, LNCS 1965], pp. 1–24, 2004. (https://idp.springer.com/authorize?response_type=cookie&client_id=springerlink&redirect_uri=https%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fcontent%2Fpdf%2F10.1007%2F3-540-44499-8_1.pdf, 23/03/2025).

[30] P.L. Montgomery, "Speeding up the Pollard rho method," Mathematics of Computation, vol. 48, no. 177, 1987, pp. 453-456.

[31] NIST, "Special Publication 800-56A Revision 2: Recommended methods for key establishment using public key cryptography," NIST Special Publication 800-56A, 2013. (https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/specialpublications/nist.sp.800-56ar2.pdf&ved=2ahUKEwio1eCz3KGMAxWgJ0QIHY c4BXQQFnoECBsQAQ&usg=AOvVaw367-qADImRilvhabe1UtQr), (https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/56/a/r2/final&ved= 2ahUKEwio1eCz3KGMAxWgJ0QIHYc4BXQQFnoECBwQAQ&usg= AOvVaw183JO5CLTxYuENINrMwqgL, 23/03/2025).

[32] H.W. Dhany, F. Izhari, H. Fahmi, M. Tulus, and M. Sutarman, "Encryption and Decryption using Password Based Encryption, MD5, and DES," Published by Atlantis Press, [ISSN: 2352-5398. Open Access: CC BY-NC], 2018, license: http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/.

[33] A. Kumar and S. Sharma, "A Study on Historical Cryptographic Techniques: Caesar Cipher to DES," International Journal of Advanced Science and Technology, 30(2), 2021, pp. 555-564.

[34] H.C. Van and S. Jajodia, "Encyclopedia Of Cryptography And Security," Springer Science & Business Media, [ISBN: 978-14419-5907-2], 1416p, 2011.

[35] B. Schneier, "Description of a new variable-length key, 64-bit block cipher (Blowfish)," In Fast Software Encryption, 1994.

[36] ——, "Secrets and lies: Digital security in a networked world," Wiley, 2000.

[37] E.A. AL-Maqtari and E.A. AL-Maqtari, "Performance Evaluation for AES, Blowfish, DES, and 3DES Cryptography Algorithms," PUIRP: Partners Universal Innovative Research Publication (ISSN: 3048-586X, Tamilnadu, India), vol. 2, no. 5, pp. 86-95, october, 2024, doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.13974870. Available at: (https://www.puirp.com/index.php/research/article/view/81, 27/04/2025).

[38] R. K. Muhammed, R.R. Aziz, A.A. Hassan, A.M. Aladdin, S.J. Saydah, T. A. Rashid, and B.A. Hassan, "Comparative Analysis of AES, Blowfish, Twofish, Salsa20, and ChaCha20 for Image Encryption," Kurdistan Journal of Applied Research (Published by Sulaimani Polytechnic University, ISSN: 2411-7684), vol. 9, no. 1, pp. 52–65, may issue, 2024, doi: https://doi.org/10.24017/science.2024.1.5, URL: https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.16274. Available at: (https://arxiv.org/abs/2407.16274, 01/06/2025).

[39] H. K. Garai and S. Dey, "A multi-step key recovery attack on reduced round Salsa and ChaCha," Cryptologia [Taylor & Francis Group Eds., ISSN: 1558-1586], vol. 49, no. 3, pp. 252–267, june issue 3, 2024, doi: https://doi.org/10.1080/01611194.2024.2342918. (https://jackgiffin.com/main/pdfs/A-multi-step-key-recovery-attack-on-reduced-round-Salsa-and-ChaCha-Hirendra-Garai-and-Sabyasachi-Dey.pdf, 10/06/2024).

[40] A. Saini, A. Tsokanos, and R. Kirner, "CryptoQNRG: a new framework for evaluation of cryptographic strength in quantum and pseudorandom number generation for key-scheduling algorithms," The Journal of Supercomputing (e-ISSN: 1573-0484), vol. 79, pp. 12219–12237, july, 2023, doi: https://doi.org/10.1007/s11227-023-05115-4. Available at: (https://link.springer.com/article/10.1007/s11227-023-05115-4, 14/04/2025).

[41] J. Daemen and V. Rijmen, "The Design of Rijndael: AES - The Advanced Encryption Standard," Springer, 2002. DOI:10.1007/978-3-662-04722-4, (23/03/2025).

[42] M. Iavich, T. Kuchukhidze, and A. Gagnidze, "Post-quantum Digital Signature Using Verkle Trees And Lattices," SPCSJ, Scientific and Practical Cyber Security Journal [SCSA, Scientific Cyber Security Association, Tbilisi, Georgia, ISSN: 2587-4667], vol. 8, no. 3, pp. 35-52, issue 2024. (https://journal.scsa.ge/issues-archive/, 23/03/2025).

[43] P. Fuegner, "Are RSA and AES Both at Risk From the Quantum Threat?" QuSecure, Inc., 2024. (https://www.qusecure.com/are-rsa-and-aes-both-at-risk-from-the-quantum-threat/#:~:text=The%20emergence%20of%20quantum%20computers,efficiently%20factoring%20large%20prime%20numbers, 2025-02-08).

[44] S. Sengupta and S. Ghosh, "Quantum Computing Encryption Threats: Why RSA and AES Are at Risk," Journal of Cryptographic Research, 2023.

[45] J. Thakur and N. Kumar, "DES, AES and Blowfish: Symmetric Key Cryptography Algorithms Simulation Based Performance Analysis," International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2011, pp. 6-12.

[46] E. Rangel, "Vecinos Envolventes para Variantes de la Regla del Vecino más Cercano," [MSc.Thesis], Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, México, 2002.

[47] ——, "La Regla De Los k Vecinos Más Cercanos (k-NN) Basada En Distancia De Manhattan (City-Block) Para Mejorar La Clasificación De Patrones," In Quinto (V) Congreso Nacional De Investigación En Ciencia E Innovación De Tecnologías Productivas. Tecnológico Nacional De México, campus: Instituto Tecnológico de Cd. Altamirano, Estado De Guerrero, México, noviembre, 2022. (http://erangel.coolpage.biz/pappers/edgarrangel2022.pdf, 06/06/2025).

[48] S. S. Iyengar, R. Kannan, and S. Ganapathi, "Inteligencia artificial y criptografía: Tendencias y desafíos," IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing, vol. 9, no. 2, pp. 833-844, 2021.

[49] X. Liu and X. Wang, "Quantum cryptanalysis of lattice-based cryptographic protocols," Physical Review X, vol. 12, no. 2 (021004), 2022.

[50] A.K. Singh, P. Kumar, and R. Singh, "Aplicación de la inteligencia artificial en la criptografía: Una revisión," Journal of Intelligent Information Systems, vol. 67, no. 2, 2021, pp. 257-275.

[51] T.M. Mitchell, "Machine learning," (2ª ed.), McGraw-Hill, 2020.

[52] J. Ross-Quinlan, "C4.5: Programs for Machine Learning," Morgan Kaufmann, San Mateo, CA., 1993.

[53] S.J. Russell and P. Norvig, "Inteligencia artificial: Un enfoque moderno," (4ª ed.), Pearson, 2020.

[54] A.K. Hartmann, "Heuristic search in graphs," Journal of Artificial Intelligence Research, vol. 68, 2020, pp. 1-33.

[55] J.S. Sánchez, F. Pla, and F. J. Ferri, "Prototype selection for the nearest neighbor rule through proximity graphs," Pattern Recognition Letters 18, 1997, pp. 507-513.

[56] L.I. Kuncheva and L.C. Jain, "Nearest Neighbor Classifier: Simultaneous editing and feature selection," Pattern Recognition Letters, vol. 20, pp. 1149-1156, 1999.

[57] K.P. Murphy, "Probabilistic machine learning: An introduction," MIT Press, 2022.

[58] B. Reddaiah, "A Study on Pairing Functions for Cryptography," IJCA (0975-8887), vol. 149, no. 10, pp. 4-7, september, 2016.

[59] D.B. Skalak, "Prototype and Feature Selection by Sampling and Random Mutation Hill Climbing Algorithms," In ML94, Proceedings of the Eleventh International Conference on Machine Learning, [Morgan Kaufmann], pp. 293-301, 1994.

[60] A. Clark, "Modern optimisation algorithms for cryptanalysis," In Proceedings of the 1994 Second Australian and New Zealand Conference on Intelligent Information Systems, November 29 - December 2, 1994, pp. 258-262.

[61] W. Griindlingh and J.H. Van-Vuuren, "Using Genetic Algorithms to Break a Simple Cryptographic Cipher," (submitted 2002), Retrieved March 31, 2003, unpublished. (http://dip.sun.ac.za/~vuuren/abstracts/abstr_genetic.htm).

[62] R.A.J Matthews, "The use of genetic algorithms in cryptanalysis," Cryptologia, vol. 17, no. 4, pp. 187-201, 1993.

[63] L. Bruzzone and S.B. Serpico, "Classification of Imbalanced remote-sensing data by neural networks," Elsevier Science B.V. , [0167-8655, 97, PH S0167-8655 (97) 00109-8], 1997. DOI: https://doi.org/10.1016/S0167-8655(97)00109-8. (https://www. sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167865597001098, 01/06/2025).

[64] I. Goodfellow,.Y. Bengio, and A. Courville, "Deep learning," MIT Press, 2021.

[65] R. Barandela, J.S. Sánchez, V. García, and E. Rangel, "Strategies for Learning in Class Imbalance Problems," Pattern Recognition [Rapid and Brief Comunication, Pergamon, ISBN: PII: S0031-3203(02)00257-1.0031-3203/02/], vol. 36, no. 3, pp. 849-851, 2003. DOI: https://doi.org/10.1016/S0031-3203(02)00257-1, (01/06/2025).

[66] D. Lewis and J. Catlett, "Heterogeneous Uncertainty Sampling for Supervised Learning," Proceedings of the 11th International Conference on Machine Learning, ICML'94, [New Brunswick, New Jersey, Morgan Kaufmann], pp. 148-156, 1994.

[67] T.M. Cover and P.E. Hart, "Nearest Neighbor Pattern Classification," IEEE Transactions on Information Theory, [e-ISSN: 1557-9654], vol. IT-13, january 1967, pp. 21-27. DOI: 10.1109/TIT.1967.1053964. (https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/ 1053964/, 23/03/2024).

[68] E. Rangel and K.U. Rangel, "Novel Pseudo-Hexadecimal Encryption Strategies For Camouflaging Ciphertext Based On Nearest Neighbor With Artificial Intelligence," IJCOPI, International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics, ISSN: 2007-1558, manuscript in review since 2024. https://ijcopi.org/ojs/authorDashboard/submission/529, unpublished.

[69] Microsoft, "Descarga de software," Microsoft, 2025. (https://www.microsoft.com/es-mx/software-download, 01/06/2015).

[70] Python.org, "The Python Network," Python.org, 2024. (https://www.python.org/downloads/, 18/11/2024).

[71] Google and Android 12, "Sistema operativo para dispositivos móviles," Google, 2024. (https://www.android.com/intl/es_es/android-12/, 01/06/2025).

[72] Pydroid3 versión 7.4_arm64, "IDE for Python 3. Lenguaje de programación y compilador," Google Play Store, 2025. (https://play.google.com/store/apps/ details?id=ru.iiec.pydroid3&hl=en&pli=1, 01/06/2025).

[73] Python and Cryptography, "Cryptography 45.0.4," Python Software Foundation, 2025. (https://pypi.org/project/cryptography/, 01/06/2025).

[74] PyCryptodome, "Crypto.Cipher package. Introduction," Readthedocs.io, 2025. (https://pycryptodome.readthedocs.io/en/ latest/src/cipher/cipher.html, 30/03/2025).

[75] PyPI, "Pycryptodome 3.21.0," Python Software Foundation, 2024. (https://pypi.org/project/pycryptodome/, 13/12/2024).

[76] E. Rangel, K. U. Rangel, L. González, C. A. Bernal, C. M. Rangel, R. I. Reynoso, C. A. Rodríguez, and L..J. Ascencio, "ChaCha20 Encryption Algorithm Security Enhancement through Artificial Intelligence-Based Random Noisy Injection: A Case Study," CULCYT. Cultura Científica y Tecnológica. Revista de investigación en ingeniería e innovación tecnológica, vol. 22, no. 3, pp. 14-33, Sept.-Dec. 2025, doi: 10.20983/culcyt.2025.3.2.2, (https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/6916/8918, 31/12/2025).

[77] E. Rangel, C. M. Rangel, and K. U. Rangel, "Camuflaje de Textos Cifrados Utilizando Inteligencia Artificial para Mejorar la Seguridad del Algoritmo AES-256, Convirtiéndolo en un Esquema de Encriptado

Dinámico," Rev. Electron. Divulg. Investig., vol. 30, pp. 39-75, Dec. 2025, (https://sabes.edu.mx/revista-electronica/29/#, 19/12/2025).

[78] E. Rangel, K. U. Rangel, L. González, C. A. Bernal, L. J. Ascencio, R. I. Reynoso, and C. A. Rodríguez, "Novel Dynamic CAST-128 Encryption Scheme And Comparison With Five Random Noisy Injection Strategies With Artificial Intelligence," Sci. Pract. Cyber Secur. J., vol. 9, no. 4, pp. 32-49, Sep. 2025, (https://journal.scsa.ge/papers/novel-dynamic-cast-128-encryption-scheme-and-comparison-with-five-random-noisy-injection-strategies-with-artificial-intelligence/, 13/10/2025).

[79] E. Rangel, K. U. Rangel, C. M. Rangel, C. A. Bernal, C. A. Rodríguez, and L. González, "A Novel IDEA-128 Enhancement Using Noisy Injection And Artificial Intelligence For Increasing Ciphertext Security," Sci. Pract. Cyber Secur. J., vol. 10, no. 1, pp. 1-20, Mar. 2026, (https://journal.scsa.ge/papers/a-novel-idea-128-enhancement-using-noisy-injection-and-artificial-intelligence-for-increasing-ciphertext-security/, 03/04/2026).

[80] E. Rangel, C. M. Rangel, K. U. Rangel, L. Roque, A. Salgado, C. A. Rodríguez, L. González, and M. C. Ramos, "An Analysis Of The Asymmetric Random Noisy RSA Encryption Scheme," Sci. Pract. Cyber Secur. J., vol. 10, no. 1, pp. 121-140, Mar. 2026, (https://journal.scsa.ge/papers/an-analysis-of-the-asymmetric-random-noisy-rsa-encryption-scheme/, 03/04/2026).

[81] E. Rangel, C.M. Rangel, K.U. Rangel, L. Roque, C.A. Rodríguez, A. Salgado, and M.C. Ramos, "Improving CAST-128 Performance for Efficient Dynamic Data Encryption. A Comparative Evaluation of CAST-128 and AES-256 Ciphertext Camouflaging Schemes," Manuscript in review since 2026. CULCYT. Cultura Científica y Tecnológica. Revista de investigación en ingeniería e innovación tecnológica, ISSN: 2007-0411, vol. 23, num. 1, Enero-Abril 2026, doi: https://doi.org/10.20983/culcyt.2026.1, (https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/issue/view/897, 06-03-2026), unpublished.

Revista Innovación y Software
Vol. 7, No. 2, Mes Septiembre - Febrero, 2026
ISSN: 2708-0935
Pág. 50-58
https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Tipo de artículo: Artículos originales
Temática: Ingeniería de software
Recibido: 29/05/2026 | Aceptado: 23/07/2026 | Publicado: 30/09/2026

Identificadores persistentes:
DOI: 10.48168/innosoft.s30.a370
ARK: ark:/42411/s30.a370

Mejorando los llamados a paquetes de R con annotater

annotater: Enhancing library load calls in R

Luis D. Verde Arregoitia[1][0000-0001-9520-6543]*, **Juan Cruz Rodríguez**[2]

[1]Laboratorio de Macroecología Evolutiva, Red de Biología Evolutiva, Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, 91073, México. luis@liomys.mx
[2]FAMAF - Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba X5000, Argentina. jcrodriguez@unc.edu.ar

*Autor para correspondencia: luis@liomys.mx

Resumen
Los paquetes y extensiones sirven para extender las capacidades de un lenguaje de programación, y trabajar con código fuente y scripts permite documentar y replicar los flujos de trabajo. Actualmente, en el entorno del lenguaje R la cantidad y diversidad de paquetes disponibles pueden ser abrumadoras. En este sentido, puede ser difícil entender el motivo o finalidad de los paquetes que se están cargando dentro de un proyecto. Para ayudar a reducir la falta de contexto que suele existir en archivos con código, una opción es agregar información directamente como comentarios en el código. Estas anotaciones dentro el código están dirigidas al lector humano y no se ejecutan, y se usan para proporcionar información adicional o aclaraciones sobre los pasos presentes en un script. `annotater` es un paquete para R para automatizar los comentarios sobre llamados a paquetes en archivos de R o en archivos de texto que permiten bloques de código ejecutable como R Markdown o Quarto (archivos .rmd y .qmd, respectivamente).

Palabras claves: código de R, comentarios, reproducibilidad

Abstract
Extensions and packages extend the capabilities of a programming language, and working with source code and scripts rather than interactively lets us document and repeat our workflows. However, in the R language ecosystem, the sheer number and diversity of existing packages can be overwhelming. In this context, the purpose of individual packages or their role in projects can become unclear. To address this lack of context, one practical approach is to add information directly to scripts using code comments. Code comments are annotations within code meant for the human reader, not the machine, meant to provide additional information or clarity to what is being executed. ***`annotater`*** *is an R package for automated commenting of library load calls in R scripts, or text-based formats that allow for embedded code blocks such as R Markdown and Quarto (*`.rmd`* and* `.qmd` *files, respectively).*

Keywords: *inline comments, R code, reproducibility*

Introduction

R (https://www.r-project.org/) is a powerful and flexible programming language and interactive environment that is now widely used for statistical computing, data analysis and visualization, and with a growing role in production environments. R has gained wide acceptance and is now used in many areas of scientific computation [1]. As open source software in which users are free to use, change, and distribute code [2], one of R's key strengths is its extensive ecosystem of packages. Base R, or the standard installation without any additional code libraries, can already let users load, transform, analyze, and plot data. R also provides a programming syntax for building and documenting specialized tools to address tasks across multiple disciplines. Packages are the fundamental unit for sharing R code and extend the base functionality of the R language. A package bundles together code, data, documentation, and tests, and is easy to share with others [3]. Individuals and groups can create and add their own contributions to extend the language [4] and there are now tens of thousands of additional packages available in the R ecosystem.

Reflecting its widespread use across disciplines, R boasts a rich and active community of users and developers that contribute to package development, ensuring that there are packages for virtually any task in any scientific discipline or in industry. This collaborative environment is conducive to innovation and diversity, with new features continuously added and improved upon [5]. As a downside, the sheer number and variety of existing packages can be overwhelming. In this context, the purpose of individual packages or their role in a given project or workflow can become unclear. When opening a script, the role of a loaded package may not be evident, requiring manual investigation and interactively stepping through the code to understand its purpose. This might mean interrupting the workflow to check the documentation or search the web to understand more about the loaded packages. This context switching [6] can slow down code review, collaboration, and ultimately reduce productivity, especially when there are many dependencies or when code is shared between users with different backgrounds, skill levels, and personal preferences. For example, users can choose from or mix and match functions, methods and objects from different package 'families'for data manipulation (such as the dplyr/data.table dialetcs [7]), spatial data work, or statistical modeling frameworks.

In addition, tracking the exact versions and sources of loaded packages is important for ensuring the reproducibility of analyses and results. In research, the replication of results and findings is the standard by which scientific claims are evaluated [8]. For a robust, reproducible analysis, script-based workflows (i.e. documenting the sequence of tasks from start to finish) are crucial. These scripts should contain all the steps that link raw data to clean data to final analysis outputs [9]. Furthermore, when code and supporting data for a particular analysis are provided, information on the computational environment used to perform the analyses should also be shared to ensure accurate replication. In the context of R and R packages, and especially those in fast-moving fields, using the stable vs. development version of a package might mean the difference between a

workflow failing or succeeding or between obtaining the same results as the ones users wish to replicate. The specific source and version of an R package used in a script can be critical, as different versions may contain different features, bug fixes, or produce slightly different results, highlighting the importance of tracking this information for reproducibility.

Good data management and reproducible research or programming practices include creating seprate data dictionaries, readme files, and detailed instructions for reproducing the code being shared [10]. Additionally, another way to record these important details is within the code itself as code comments. Ultimately, the practice of adding comments to package load calls offers numerous benefits without breaking the execution of code or being overly distracting. These annotations, meant for human readers [11], can significantly aid in teaching and learning R, streamline code and data sharing among collaborators, improving the replicability of research materials, and generally lead to faster comprehension of what is happening within a script.

annotater

Most scripts load numerous packages, which may not have self-explanatory names and are often loaded without mentioning their purpose, source, or which specific functions and datasets are actually used. This lack of explicit information does not imply bad coding practices. In fact, it is often said that well written code does not need any inline comments when the purpose for each step is obvious [12]. However, adding useful information as unobtrusive comments can lead to self-documented and understandable code, ultimately improving individual and collaborative workflows. The `annotater` package was developed to address this unmet need in R for improving code comprehension regarding loaded packages in scripts.

Identifying which parts of a script rely on specific packages and their components can be challenging, making it harder to refactor code, manage dependencies, or identify unused packages. Identifying unused packages within a script is particularly valuable practice for several reasons. Loading unnecessary packages introduces overhead, consuming memory and potentially slowing down script execution. Moreover, having users install and attach packages that are never actually used can lead to confusion, frustration, unnecessary system-level dependencies, or even namespace conflicts in which functions with the same name become masked and the order in which libraries were attached to the search path becomes important. Streamlining the list of loaded packages makes the code cleaner and easier to understand, especially during first contact with a new script or code base.

Features and examples

Upon installation, R packages already include useful details that can be leveraged to automate the creation of these informative comments. For an installed package, the `packageDescription()` function parses and returns its `DESCRIPTION` file, which is a basic building block for all packages that records useful information. `annotater` uses regular expressions to identify package load calls in a script or text file, and can gather relevant information for each loaded package from either the DESCRIPTION file or by parsing all the code in a script to note the functions, methods, or datasets being used from each package.

These annotations can be particularly useful for sharing code with others, as a way to provide immediate context about why each package is being used and for what purpose. Code can be annotated interactively using the package functions or through addins (an interactive approach to execute functions from a package through a drop-down menu) in the popular RStudio IDE. Support for using these addins in the the newer Positron IDE is forthcoming.

The following annotations are supported. The code blocks below show the output of the different features on small scripts. These examples have line breaks which are not present in the actual output.

Add package titles

Package titles are one line descriptions of what a package does. These titles are always plain text, their length is generally consistent (<65 characters to avoid truncation in different listings), and in the case of packages from CRAN (the Comprehensive R Archive Network), the wording is reviewed by a dedicated team to ensure informative and concise titles. Adding titles next to each load call can already provide a good notion of why a package is being loaded, especially for those with names that are derived from acronyms, abbreviations, wordplay, international languages, or references to popular culture.

```
library(brms)    # Bayesian Regression Models using 'Stan'
library(caper)   # Comparative Analyses of Phylogenetics and Evolution in R
library(readr)   # Read Rectangular Text Data
library(picante) # Integrating Phylogenies and Ecology
```

Add package installation sources and versions

R packages can be obtained from various sources and repositories, reflecting the collaborative and evolving nature of the R community. The most common repository is the Comprehensive R Archive Network (CRAN), which hosts a vast collection of stable, programatically-tested, and human-reviewed packages. Other sources

include Bioconductor, specializing in packages for bioinformatics and computational biology, and development platforms like GitHub, GitLab, Bitbucket, and Codeberg, where developers share the latest package versions, often before official release. annotater supports various sources including CRAN, GitHub, GitLab, Bioconductor, Posit Package Manager (RSPM), and the R-universe (https://r-universe.dev/).

```
library(brms)    # [github::paul-buerkner/brms] v2.22.11
library(caper)   # CRAN v1.0.3
library(readr)   # Posit RSPM v2.1.5
library(picante) # CRAN v1.8.2
```

All functions in `annotater`, including those for adding source and version, are compatible with both `library()` and `p_load()` calls when loading packages with the `pacman` [13] package management tools. Most annotation functions in the package align the commenting or hash symbol vertically for readability, and the source and version annotation function also adds the source of the package in square brackets before the version number.

```
# add source and version to pacman call
library(readr) # Posit RSPM v2.1.5
pacman::p_load(
  caper,   # CRAN v1.0.3
  picante  # CRAN v1.8.2
)
```

Identify the functions and datasets being used from each package

Code in a script can be parsed and tokenized so that all functions or datasets that appear in a script can be identified, and then matched with the exported functions or datasets from each package being loaded in a script.

For functions and methods:

```
library(brms)    # No used functions found
library(caper)   # No used functions found
library(readr)   # read_csv
library(picante) # df2vec
```

```
dat <- read_csv("mdata.csv")
df2vec(dat, colID = Y1)
```

For datasets:

```
library(caper)   # shorebird.data
library(readr)   # No loaded datasets found
library(picante) # No loaded datasets found
```

```
data(shorebird)
hist(shorebird.data$F.Mass)
```

Expand popular metapackages into their loaded components

Metapackages or package universes are ways of easily installing and loading a set of related packages using a single command. While this approach of loading multiple packages using an 'alias' is convenient, especially for interactive work, loading metapackages may attach many more functions, methods, and datasets than are strictly required for a particular workflow. This can increase overhead and the potential for conflicts and confusion. Therefore, explicitly loading only the specific component packages needed can be advantageous for efficiency and clarity. `annotater` can expand `tidyverse` [14], `easystats` [15], and `tidymodels` [16] into their core components. After this step, other functions can then identify unused packages to streamline a script and/or make the code easier to follow.

The call `library(tidyverse)` will be expanded into:

```
####
library(ggplot2)
library(tibble)
library(tidyr)
library(readr)
library(purrr)
library(dplyr)
library(stringr)
library(forcats)
```

```
library(lubridate)
####
```

The component packages are listed on separate lineas and in the same order as they are loaded by the metapackage, and the block of code is delimited by comment lines intentionally.

Add session information

`annotater` supports adding R and RStudio versions, platform, and operating system of the local machine as comments to the beginning of a script.

On a machine running Linux:

```
# R version 4.5.0 (2025-04-11)
# Platform: x86_64-pc-linux-gnu
# Running under: Linux Mint 22.1
# Rstudio 2025.5.0.496 (Mariposa Orchid)
#
```

On the same machine a year later:

```
# R version 4.6.0 (2026-04-24)
# Platform: x86_64-pc-linux-gnu
# Running under: Linux Mint 22.3
# Rstudio 2026.4.0.526 (Globemaster Allium)
#
```

Concluding remarks

`annotater` is available on GitHub, CRAN, and R-universe and has a dedicated website for documentation (https://annotater.liomys.mx/). Since its release on CRAN, the package has been downloaded over 17,000 times. Community adoption can be inferred from public code searches for patterns commonly generated by `annotater`. For example, GitHub code searches for strings such as "`) # CRAN v`", "`) # Create elegant`", and "`) # A grammar`" —which typically annotate library calls for packages like `dplyr` and `ggplot2`— return

over 2,000 results. These matches to likely fingerprints of package use suggest that a significant number of users are using `annotater` to automatically append version and title comments to their package load calls.

It is worth noting that Large Language Model (LLM) tools can now generate inline explanations for loaded packages based on the context in a file and on the model's training data about what different packages do. Users of chatbots, integrated assistants, and autocompletion engines may now be familiar with how LLM-powered tools readily add comments next to package load calls. However, `annotater` represents a more parsimonious approach with distinct practical advantages. `annotater` runs locally in R, requiring no internet access, incurring no usage fees, and eliminating the need for setting up local models or managing API keys. Most importantly, package information is obtained directly from users' installations, avoiding hallucinations or other issues related to the source and copyright of training data for external LLM tools.

The `annotater` package provides a valuable solution by offering a non-invasive method to automatically add informative comments alongside package load calls. By annotating scripts with package titles, repository sources, versions, and even the functions and datasets being used, `annotater` significantly enhances code clarity and provides essential information for reproducibility and maintenance.

Acknowledgments

The authors acknowledge the LatinR (`https://latinr.org/`) community (Conferencia Latinoamericana sobre Uso de R en Investigación + Desarrollo) for ongoing feedback and promotion of the package.

Author contributions

Luis D. Verde Arregoitia: Conceptualization, Software, Supervision, Writing – original draft, Writing – review & editing. Juan Cruz Rodríguez: Software, Writing – original draft, Writing – review & editing.

Referencias

[1] S. J. Eglen, "A quick guide to teaching R programming to computational biology students," *PLOS Computational Biology*, vol. 5, no. 8, p. e1000482, 2009. [Online]. Available: https://journals.plos.org/ploscompbiol/article?id=10.1371/journal.pcbi.1000482

[2] N. Thieme, "R generation," *Significance*, vol. 15, no. 4, pp. 14–19, 2018. [Online]. Available: https://rss.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1740-9713.2018.01169.x

[3] H. Wickham and J. Bryan, *R Packages*, 2nd ed. O'Reilly Media Inc., 2023.

[4] J. M. Chambers, *Extending R*. Chapman and Hall/CRC, 2017.

[5] K. Bodwin, "Keynote: Keep R weird," presented at UseR!, Salzburg, Austria, 2024.

[6] G. Wilson. (2021) Task interruption in software development projects. It Will Never Work in Theory. [Online]. Available: https://neverworkintheory.org/2021/08/09/task-interruption-in-software-development-projects.html

[7] V. Arel-Bundock. (2025) data.table vs. base vs. dplyr. Arelbundock.com. [Accessed March 9, 2026]. [Online]. Available: https://arelbundock.com/posts/dt_tb_df/

[8] R. D. Peng, "Reproducible research in computational science," *Science*, vol. 334, no. 6060, pp. 1226–1227, 2011. [Online]. Available: https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1213847

[9] N. Cooper and P. Y. Hsing, *A Guide to Reproducible Code in Ecology and Evolution*. British Ecological Society, 2017. [Online]. Available: https://www.britishecologicalsociety.org/wp-content/uploads/2017/12/guide-to-reproducible-code.pdf

[10] C. Lewis, *Data Management in Large-Scale Education Research*, 1st ed. Chapman and Hall/CRC Press, 2024.

[11] A. Filazzola and C. Lortie, "A call for clean code to effectively communicate science," *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 13, no. 10, pp. 2119–2128, 2022. [Online]. Available: https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/2041-210X.13961

[12] G. Wilson, J. Bryan, K. Cranston, J. Kitzes, L. Nederbragt, and T. K. Teal, "Good enough practices in scientific computing," *PLOS Computational Biology*, vol. 13, no. 6, p. e1005510, 2017. [Online]. Available: https://journals.plos.org/ploscompbiol/article?id=10.1371/journal.pcbi.1005510

[13] T. W. Rinker and D. Kurkiewicz, "pacman: Package management for R," Buffalo, New York, 2018. [Online]. Available: http://github.com/trinker/pacman

[14] H. Wickham *et al.*, "Welcome to the Tidyverse," *Journal of Open Source Software*, vol. 4, no. 43, p. 1686, 2019. [Online]. Available: https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.01686

[15] D. Lüdecke *et al.*, "easystats: Framework for easy statistical modeling, visualization, and reporting," 2022, cRAN.

[16] M. Kuhn and J. Silge, *Tidy Modeling with R: A Framework for Modeling in the Tidyverse*. O'Reilly Media, Inc., 2022.

Revista Innovación y Software
Vol. 7, No. 2, Mes Septiembre - Febrero, 2026
ISSN: 2708-0935
Pág. 59-74
https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Tipo de artículo: Artículos originales
Temática: Procesamiento de imágenes
Recibido: 26/08/2026 | Aceptado: 15/09/2026 | Publicado: 30/09/2026

Identificadores persistentes:
DOI: 10.48168/innosoft.s30.a389
ARK: ark:/42411/s30.a389

Luces nocturnas VIIRS e incidencia estimada de pobreza monetaria en la provincia de Puno, 2013–2024

VIIRS Nighttime Lights and Estimated Monetary Poverty Incidence in Puno Province, 2013–2024

Emerson Ruben Huacasi Ccama[1*]

[1]Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú. ehuacasiccama@gmail.com

[*]Autor para correspondencia: ehuacasiccama@gmail.com

Resumen
La medición local de la pobreza enfrenta retos, como la falta de datos oportunos y el costo de las encuestas tradicionales. Estas limitaciones a menudo impiden un seguimiento continuo para formular políticas. Este estudio se enfocó en cómo las imágenes satelitales de luces nocturnas pueden complementar la estimación territorial de la pobreza monetaria, analizando su asociación temporal en la provincia de Puno durante 2013 a 2024. Se llevó a cabo una integración de doce observaciones anuales de la Encuesta Nacional de Hogares y del producto lumínico del radiómetro de imágenes en el infrarrojo visible. Se estimó la pobreza respetando el diseño muestral complejo; la iluminación se resumió mediante radiancia media ponderada por área, proporción de superficie iluminada y mediana de píxeles positivos. Los resultados mostraron que la pobreza osciló entre 22,4 y 41,7 por ciento, con siete estimaciones superando el umbral oficial de precisión del 15 por ciento. También se observó que la radiancia media aumentó de 0,0957 a 0,1950 nanovatios por centímetro cuadrado por estereorradián y la superficie iluminada creció un 84,3 por ciento. En niveles, se destacó una correlación positiva con un coeficiente de 0,671, aunque en primeras diferencias la relación fue negativa e imprecisa. Al excluir el periodo de 2020 a 2021, la asociación basada en la mediana disminuyó y no alcanzó el umbral fijado. La evidencia indicó que las luces nocturnas brindan información territorial útil, pero no sustentan inferencias causales ni reemplazan las encuestas.

Palabras claves: Análisis longitudinal, luces nocturnas, pobreza monetaria, teledetección, VIIRS

Abstract
Local poverty measurement faces challenges, such as the lack of timely data and the cost of traditional surveys. These limitations often prevent continuous monitoring for policymaking. This study focused on how nighttime lights satellite imagery can complement the territorial estimation of monetary poverty, analyzing its temporal association in Puno Province during 2013 to 2024. An integration of twelve annual observations from the National Household Survey and the visible infrared imaging radiometer suite product was carried out. Poverty was estimated accounting for the complex survey design; lighting was summarized using area-weighted mean radiance, proportion of illuminated surface, and median of positive pixels. Results showed that poverty ranged between 22.4 and 41.7 percent, with seven estimates exceeding the 15 percent official precision threshold. It was also observed that mean radiance increased from 0.0957 to 0.1950 nanowatts per square centimetre per steradian, and the illuminated surface grew by 84.3 percent. In levels, a positive correlation with a coefficient of 0.671 was highlighted, although in first differences the relationship was negative and imprecise. By excluding the period from 2020 to 2021, the median-based association decreased and did not reach the specified threshold.

Revista Innovación y Software
Vol. 7, No. 2, Mes Septiembre - Febrero, 2026
ISSN: 2708-0935
Pág. 59-74
https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft

Evidence indicated that nighttime lights provide useful territorial information, but they do not support causal inferences or replace surveys.

Keywords: *Longitudinal analysis, monetary poverty, nighttime lights, remote sensing, VIIRS*

Introducción

La pobreza monetaria se establece al comparar el gasto per cápita del hogar con el valor de una línea de pobreza. En el Perú, se considera pobre a la persona cuyo hogar no dispone de gasto suficiente para cubrir una canasta básica de alimentos, bienes y servicios esenciales; la pobreza extrema corresponde a un gasto inferior al costo de la canasta alimentaria. En 2024, la pobreza monetaria alcanzó al 27,6 % de la población nacional y al 39,9 % del departamento de Puno [1]. La cifra departamental sitúa el problema, pero no describe la incidencia específica de la provincia de Puno.

La provincia reúne 15 distritos y, según los Censos Nacionales de 2017, registró 219 494 habitantes, de los cuales 80 582 residían en el área rural (36,7 %) [2]. En su territorio coexisten la aglomeración urbana de la ciudad de Puno, centros poblados de menor tamaño y asentamientos rurales dispersos. Esa configuración produce diferencias en electrificación, infraestructura y actividad económica. También impide equiparar mecánicamente oscuridad y pobreza: una actividad agropecuaria, por ejemplo, puede generar ingreso sin una emisión nocturna comparable a la del comercio urbano.

La Encuesta Nacional de Hogares (ENAHO) es la fuente oficial para medir pobreza y condiciones de vida. Su diseño es probabilístico, estratificado y multietápico, con cobertura urbana y rural [3]. Sin embargo, la provincia no constituye un nivel anual de inferencia garantizado. Una estimación directa para ese dominio depende del número de unidades muestrales efectivamente observadas y debe leerse junto con su error estándar, intervalo de confianza y coeficiente de variación. Para áreas menores, el Mapa de Pobreza Monetaria Provincial y Distrital 2018 combinó encuesta y censo mediante estimación para áreas pequeñas [4]; su carácter puntual no permite reconstruir una trayectoria anual provincial.

La banda día-noche del Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) ofrece una observación complementaria de la actividad territorial. El producto Annual Nighttime Lights V2 se genera a partir de compuestos mensuales y aplica filtros para nubes, incendios, auroras, valores atípicos y ruido de fondo. Su resolución es de 15 segundos de arco, aproximadamente 500 m en el ecuador, y la radiancia se expresa en $\mathrm{nW\,cm^{-2}\,sr^{-1}}$ [5, 6]. El producto conserva una base física comparable entre años, aunque registra iluminación observable y no bienestar económico de manera directa.

La evidencia previa en Asia, Europa y Sudamérica ha mostrado que la iluminación nocturna puede aportar información socioeconómica útil cuando se integra con datos geoespaciales o estadísticos [7–10]. Sin embargo, tal como advierten estudios específicos en China [11] y Venezuela [12], el acceso a electricidad es solo una dimensión de la pobreza, y la capacidad de la radiancia satelital para explicar variaciones temporales dentro de un mismo territorio suele ser considerablemente más débil que su capacidad para comparar lugares distintos de forma transversal [13]. Este contraste es central: una señal adecuada para comparar zonas geográficas no necesariamente representa cambios de corto plazo de manera homogénea.

El vacío abordado se encuentra en la escasa evidencia temporal que vincula, para una sola provincia peruana, estimaciones anuales de pobreza monetaria con la evolución de la radiancia y su distribución distrital. Por ello, se evaluó la relación entre los indicadores VIIRS y la incidencia estimada de pobreza en la provincia de Puno durante 2013–2024. Los objetivos específicos fueron estimar la serie provincial con sus medidas de precisión, caracterizar la trayectoria y la heterogeneidad espacial de las luces nocturnas, y examinar su asociación en niveles y en cambios interanuales.

Materiales y métodos

Área de estudio y diseño

El ámbito estuvo definido por la unión de los límites de los 15 distritos de la provincia de Puno. La provincia se identificó en ENAHO mediante los cuatro primeros dígitos del UBIGEO, iguales a 2101. La investigación se estructuró bajo un enfoque cuantitativo de tipo observacional (no experimental), ya que analizó los datos registrados sin manipulación de variables. El diseño fue longitudinal, al evaluar la evolución de los indicadores a través del tiempo (2013–2024), y de nivel ecológico, dado que la unidad de análisis fue un agregado poblacional y territorial (la observación provincia-año) y no el individuo. Finalmente, el alcance del estudio fue correlacional, al determinar el grado de asociación estadística entre ambas dimensiones. Por tanto, la serie integrada comprendió doce observaciones. Los distritos y los píxeles se utilizaron para describir la distribución de la iluminación, no como réplicas independientes de una única estimación anual de pobreza provincial.

Fuentes y variables

La fuente socioeconómica fue el archivo Sumaria de ENAHO para cada año. Se auditaron los identificadores de vivienda y hogar, el UBIGEO, el estrato, el conglomerado, el factor de expansión, el número de miembros y la clasificación oficial de pobreza. Los códigos 1 y 2 de la variable `POBREZA` identificaron, respectivamente, pobreza extrema y pobreza no extrema; el código 3 correspondió a población no pobre [14, 15].

La fuente satelital fue la serie Annual VIIRS Nighttime Lights disponible en Google Earth Engine: `NOAA/VIIRS/DNB/ANNUAL_V21` para 2013–2021 y `NOAA/VIIRS/DNB/ANNUAL_V22` para 2022–2024. Se empleó `average_masked` como banda de radiancia y `cf_cvg` para controlar cobertura válida [16, 17]. La Tabla 1 resume la operacionalización.

Tabla 1. Operacionalización y fuentes de las variables

Función	**Variable**	**Definición operacional**	**Indicadores**
Dependiente	Pobreza monetaria provincial	Proporción ponderada de personas residentes en hogares del dominio provincial con `POBREZA` igual a 1 o 2.	Incidencia anual, error estándar, intervalo de confianza del 95 %, coeficiente de variación y tamaño muestral.
Independiente	Luces nocturnas VIIRS	Intensidad y extensión de la radiancia válida dentro de un límite provincial constante.	Radiancia media ponderada por área, superficie y proporción con radiancia positiva, mediana de píxeles positivos y cobertura válida.

Fuente: ENAHO Sumaria y Annual VIIRS Nighttime Lights V2.1–V2.2.

Estimación de pobreza monetaria

La estimación se realizó respetando el diseño muestral complejo de ENAHO mediante el entorno R (paquete `survey` [18] con linealización de Taylor para la varianza). Siguiendo la estructura de los microdatos, se construyeron tres elementos clave: 1) el estrato operativo, combinando los códigos de departamento y estrato original; 2) la unidad primaria de muestreo (UPM), anidando el conglomerado dentro del departamento; y 3) la variable indicadora de pobreza, que tomó el valor de uno si la clasificación oficial del hogar indicaba pobreza extrema (1) o pobreza no extrema (2), y cero si indicaba población no pobre (3). Para cada año se declaró primero el diseño con todas las observaciones nacionales válidas y, posteriormente, se estimó el dominio provincial mediante `subset()` sobre los cuatro primeros dígitos del UBIGEO, iguales a 2101. Este procedimiento conservó la estructura nacional del diseño al calcular la varianza del dominio.

Al analizar este dominio subnacional, el tamaño de muestra empírico fue considerablemente menor que el nacional, lo que hizo necesario conservar el tratamiento de diseño complejo y comunicar las medidas de precisión (Tabla 2).

Tabla 2. Tamaño de muestra empírico para el dominio de la provincia de Puno

Año	Conglomerados (UPM)	Hogares muestrales	Personas muestrales	Suma de pesos personales
2013	43	266	932	289 365
2014	41	246	834	259 042
2015	45	264	899	265 450
2016	44	267	877	247 577
2017	43	253	799	238 666
2018	63	394	1 263	231 584
2019	43	273	884	249 246
2020	41	255	763	189 651
2021	38	225	649	225 905
2022	39	245	672	269 938
2023	38	227	652	291 708
2024	40	252	754	314 004

La última columna es la suma de los pesos personales del dominio y no una proyección demográfica oficial de la provincia. Fuente: elaboración propia a partir de microdatos ENAHO (UBIGEO 2101).

Como control interno, la clasificación de pobreza se reconstruyó a partir del gasto per cápita mensual y se comparó con las líneas oficiales. Además, el diseño completo se utilizó para reproducir la tasa nacional publicada por el INEI. La concordancia de clasificación fue del 100 % en los hogares evaluables y las diferencias de la tasa nacional estuvieron entre $-0{,}03$ y $0{,}05$ puntos porcentuales, lo que validó la consistencia del diseño muestral programado.

La incidencia reportada corresponde al índice de recuento $FGT(0)$ [19]. Dado que el archivo Sumaria registra una sola fila por hogar, fue necesario expandir la muestra a nivel de individuos. El factor de ponderación de personas se calculó mediante el producto:

$$w_{ht} = f_{ht} m_{ht}, \tag{1}$$

donde w_{ht} representa el factor de expansión poblacional para el hogar h en el año t, f_{ht} es el factor de expansión anual del hogar proporcionado por el INEI (extraído de la variable `FACTOR07`), y m_{ht} es el número total de miembros residentes en el hogar (extraído de `MIEPERHO`).

Con este peso poblacional, la estimación porcentual de la incidencia de pobreza para cada año t se determinó

evaluando la media ponderada de la variable indicadora:

$$\widehat{H}_t = 100\,\frac{\sum_{h\in D} w_{ht} y_{ht}}{\sum_{h\in D} w_{ht}}, \tag{2}$$

donde $\widehat{H}_t$ es la incidencia provincial de pobreza, D representa el dominio de estudio (la provincia), w_{ht} es el factor de personas calculado en el paso anterior, y y_{ht} es la variable dicotómica de pobreza previamente construida (1 para pobre, 0 para no pobre). Matemáticamente, esto equivale al estimador de razón del recuento bajo ponderación de encuesta. Su varianza se estimó con el diseño complejo y no de una muestra aleatoria simple, aplicando el ajuste centrado para UPM solitarias.

La precisión resultante se evaluó con el coeficiente de variación:

$$CV_t(\%) = 100\,\frac{SE(\widehat{H}_t)}{\widehat{H}_t}, \tag{3}$$

donde $CV_t(\%)$ es el coeficiente de variación porcentual de la incidencia estimada en el año t, y $SE(\widehat{H}_t)$ es el error estándar de dicha estimación. El INEI clasifica como referenciales las estimaciones con $CV > 15\,\%$ [20], por lo que dicho corte se utilizó como advertencia explícita de precisión; no convierte a la provincia en dominio de inferencia oficial garantizado.

Procesamiento de luces nocturnas

Para cada año se resolvió explícitamente la colección correspondiente (V2.1 hasta 2021 y V2.2 desde 2022), se seleccionó un compuesto anual y se recortó con el mismo límite provincial. La reducción zonal se solicitó a una escala nominal de 500 m, con `maxPixels` igual a 10^{13} y `tileScale` igual a 2. Se consideró válida una celda cuando `cf_cvg` fue mayor que cero. No se aplicó un umbral adicional a la radiancia media; por ello, esta incluyó todos los valores válidos, incluso valores negativos residuales. Para el indicador de extensión se definió operativamente una celda positiva cuando su radiancia fue estrictamente mayor que cero. El producto V2 aplica previamente filtros de valores atípicos y ruido de fondo [5]. La estadística zonal se ponderó por el área de cada celda, práctica recomendada cuando los píxeles intersectan un polígono y no aportan la misma superficie [21]. En Earth Engine, a_i se obtuvo con `ee.Image.pixelArea()`, cuyos valores se expresan en metros cuadrados según la proyección y escala del cálculo [22]:

$$\overline{R}_t = \frac{\sum_{i \in D} a_i r_{it} I(cf_{it} > 0)}{\sum_{i \in D} a_i I(cf_{it} > 0)}, \tag{4}$$

donde $\overline{R}_t$ es la radiancia media en el año t para la provincia D, r_{it} es el valor de radiancia de la celda i en el año t, a_i representa el área física de dicha celda en metros cuadrados, cf_{it} denota la cobertura válida de observación sin nubes, e $I(\cdot)$ es la función indicadora que asume el valor de uno (1) cuando se cumple la condición dentro del paréntesis y cero (0) en caso contrario. La proporción de superficie con radiancia positiva se calculó como:

$$L_t^+ = 100 \, \frac{\sum_{i \in D} a_i I(r_{it} > 0 \wedge cf_{it} > 0)}{\sum_{i \in D} a_i I(cf_{it} > 0)}, \tag{5}$$

donde L_t^+ es el porcentaje de superficie iluminada (con radiancia estrictamente mayor a cero) respecto a toda la superficie válida del dominio D en el año t. También se obtuvo la mediana de las celdas con radiancia positiva. Los mismos indicadores se calcularon para cada distrito con finalidad descriptiva. La cobertura válida alcanzó el 100 % del soporte provincial en los doce compuestos, con 27 030 celdas por año.

Análisis estadístico y reproducibilidad

La asociación principal se definió como el coeficiente de correlación de rangos de Spearman (ρ_s) entre la incidencia de pobreza y la radiancia media [23]. Como la aproximación asintótica puede ser inadecuada en muestras pequeñas, el valor de probabilidad bilateral se estimó con $B = 199\,999$ permutaciones aleatorias y se aplicó la corrección de Monte Carlo propuesta por Phipson y Smyth [24]. Para reducir la asociación inducida por tendencias persistentes en niveles [25], también se correlacionaron las primeras diferencias interanuales (ΔH_t y ΔR_t) como diagnóstico frente a la tendencia compartida. Los procedimientos numéricos se implementaron con SciPy [26], sin interpretar los coeficientes como efectos causales.

El flujo se organizó en notebooks secuenciales para inventario, auditoría de ENAHO, estimación provincial, procesamiento VIIRS, estadísticas zonales, integración, análisis temporal y generación de productos. Cada etapa conservó parámetros, versiones y registros de ejecución.

Resultados y discusión

Pobreza monetaria y precisión muestral

La incidencia estimada presentó una trayectoria discontinua (Tabla 3). El mínimo fue 22,4 % en 2014 y el máximo 41,7 % en 2021. Tras valores cercanos a 26,5 % en 2018 y 2019, la serie aumentó a 40,4 % en 2020 y permaneció elevada en 2021. En 2024 se estimó 35,9 %, 12,5 puntos porcentuales por encima de 2013.

Tabla 3. Serie provincial de pobreza estimada y luces nocturnas

Año	**Pobreza (%)**	**SE (pp)**	**CV (%)**	**Radiancia media**	**Superficie $R>0$ (km^2)**	**Superficie $R>0$ (%)**
2013	23,36	4,34	18,59	0,0957	240,85	3,73
2014	22,36	4,71	21,05	0,1064	255,58	3,96
2015	31,59	5,12	16,21	0,1073	242,22	3,75
2016	29,02	5,05	17,41	0,1165	261,94	4,06
2017	31,39	4,59	14,62	0,1297	293,94	4,55
2018	26,50	3,80	14,33	0,1384	318,10	4,93
2019	26,59	4,28	16,09	0,1425	322,46	5,00
2020	40,44	5,61	13,87	0,1442	321,04	4,97
2021	41,67	6,45	15,48	0,1495	325,64	5,05
2022	30,31	4,43	14,60	0,1606	349,83	5,42
2023	36,02	5,91	16,42	0,1751	396,38	6,14
2024	35,89	4,48	12,48	0,1950	443,90	6,88

SE: error estándar; CV: coeficiente de variación. Un CV superior a 15 % identifica una estimación referencial. La radiancia se expresa en nW cm^{-2} sr^{-1} y $R>0$ denota radiancia estrictamente positiva. Fuente: elaboración propia con ENAHO y VIIRS.

Siete de las doce estimaciones excedieron el umbral operativo de precisión. Los intervalos de confianza de la Figura 1 muestran que la variabilidad muestral no es marginal frente a las diferencias anuales. Por ello, la sucesión de puntos no debe interpretarse como una estadística oficial provincial ni como evidencia de cambios finos entre años contiguos. La amplitud observada confirma la necesidad de acompañar cualquier estimación directa de ENAHO para áreas menores con una advertencia explícita de precisión.

Revista Innovación y Software
Vol. 7, No. 2, Mes Septiembre - Febrero, 2026
ISSN: 2708-0935
Pág. 59-74
https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft

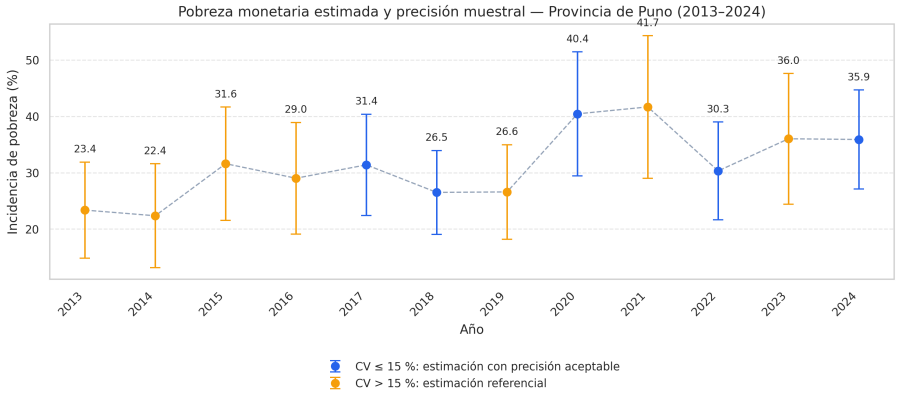


Figura 1. Incidencia estimada de pobreza monetaria e intervalos de confianza del 95 %. El color distingue estimaciones según el umbral operativo del coeficiente de variación.

Evolución y distribución de las luces nocturnas

Como muestra la Figura 2, la radiancia media aumentó de 0,0957 a 0,1950 nW cm^{-2} sr^{-1} entre 2013 y 2024, equivalente a 103,8 %. En el mismo periodo, la superficie con radiancia positiva pasó de 240,85 a 443,90 km^2 y su proporción creció de 3,73 a 6,88 %; ambos cambios representaron 84,3 %. La mediana de los píxeles positivos se incrementó 288,8 %, de 0,1729 a 0,6721 nW cm^{-2} sr^{-1}.

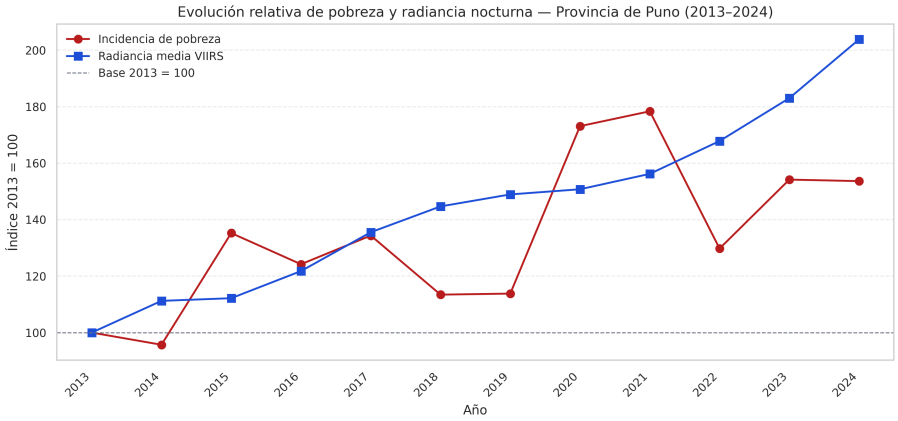


Figura 2. Evolución relativa de la incidencia estimada de pobreza y la radiancia media, con base 2013 igual a 100.

La señal estuvo espacialmente concentrada. El distrito de Puno mantuvo durante toda la serie una radiancia muy superior a la de los demás distritos y conformó el núcleo más intenso de iluminación provincial. Desde

2022 se observó una ampliación en distritos de menor intensidad, especialmente en Amantaní, Coata y Paucarcolla, pero la brecha respecto al centro urbano persistió (Figura 3). Esta asimetría restringe la interpretación socioeconómica de la media provincial: un cambio localizado en el núcleo urbano puede elevar el indicador aunque las condiciones rurales no sigan una trayectoria comparable.

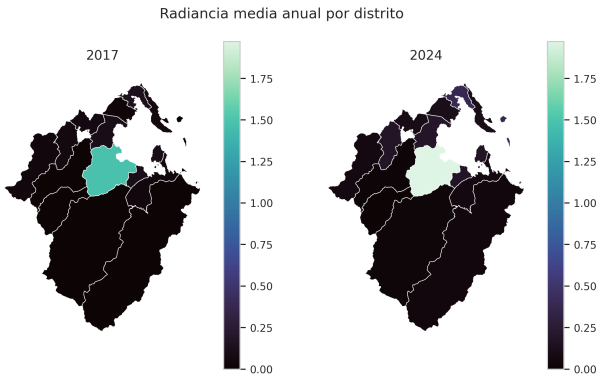


Figura 3. Radiancia media distrital en 2017 y 2024, expresada en $\mathrm{nW\,cm^{-2}\,sr^{-1}}$. La escala representa intensidad lumínica y no pobreza distrital.

Asociación temporal

Las estimaciones provinciales utilizadas en las pruebas estadísticas se presentan en la Tabla 3; las asociaciones resultantes se resumen en la Tabla 4.

La asociación principal entre radiancia media y pobreza fue positiva ($\rho_s = 0{,}6713$; $\widehat{p} = 0{,}0199$). Entre los análisis secundarios, la mediana de píxeles positivos presentó $\rho_s = 0{,}6084$ ($\widehat{p} = 0{,}0391$), mientras la proporción de superficie positiva presentó $\rho_s = 0{,}5734$ ($\widehat{p} = 0{,}0551$). La variación de los resultados entre indicadores muestra que la evidencia en niveles no fue uniforme (Tabla 4).

Tabla 4. Asociaciones entre pobreza monetaria e indicadores VIIRS

Escala	**Indicador VIIRS**	**Spearman**	$\widehat{p}$ **bilateral**	n
Niveles anuales	Radiancia media	0,6713	0,0199	12
Niveles anuales	Proporción con $R > 0$	0,5734	0,0551	12
Niveles anuales	Mediana con $R > 0$	0,6084	0,0391	12
Primeras diferencias	Radiancia media	−0,3364	0,3141	11
Sensibilidad sin 2020–2021	Mediana con $R > 0$	0,5515	0,1061	10

Valores bilaterales obtenidos con 199 999 permutaciones Monte Carlo. La fila sin 2020–2021 se compara con la mediana en niveles, porque ambas corresponden al mismo indicador.

En la nube de puntos, 2020 y 2021 combinaron las dos incidencias de pobreza más altas con valores de radiancia situados dentro de la tendencia ascendente de la serie (Figura 4). Este patrón descriptivo motivó una sensibilidad que excluyó ambos años. La salida disponible para esta exclusión corresponde a la mediana de píxeles positivos: frente a la serie completa, el coeficiente disminuyó de 0,6084 a 0,5515 y el valor de probabilidad aumentó de 0,0391 a 0,1061 (Tabla 4). El cambio indica que esta asociación secundaria no fue estable ante la exclusión del periodo; no permite atribuir a la pandemia el origen de la asociación.

En primeras diferencias, el coeficiente cambió de signo ($\rho_s = -0{,}3364$), pero fue impreciso ($\widehat{p} = 0{,}3141$); por tanto, no se obtuvo evidencia suficiente de una asociación inversa entre los cambios interanuales. En la sensibilidad de la mediana de píxeles positivos, los coeficientes permanecieron positivos al excluir cada año (0,555–0,764), aunque la mayoría de los valores de probabilidad superó 0,05. La persistencia del signo no demuestra un mecanismo estable y es compatible con la tendencia compartida de las series en niveles.

La figura se limita a los doce pares pobreza–radiancia y no incorpora una recta predictiva, porque el análisis evalúa asociación monotónica y no un modelo de predicción.

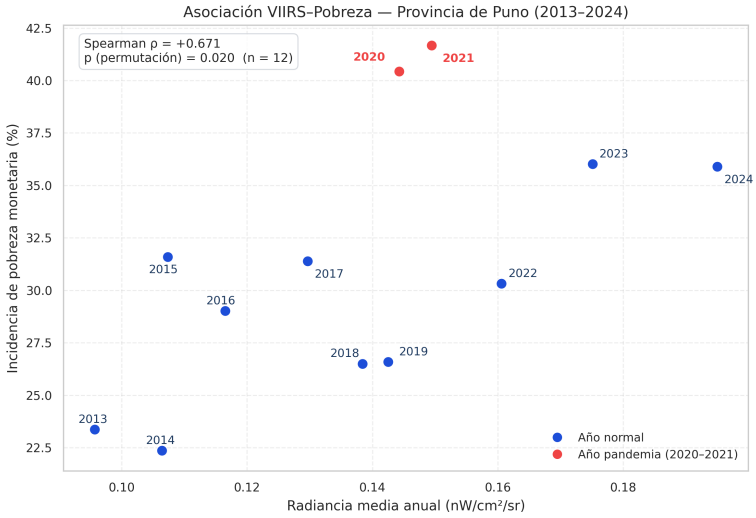


Figura 4. Relación entre radiancia media e incidencia estimada de pobreza. Los años 2020–2021 se destacan por corresponder al periodo de pandemia.

Discusión

El hallazgo central fue una asociación positiva entre pobreza estimada y radiancia media cuando ambas series se analizaron en niveles, pero no se obtuvo evidencia suficiente de una asociación inversa entre sus cambios interanuales. Como la radiancia aumentó de forma monotónica y la pobreza mostró oscilaciones amplias, el coeficiente en niveles puede estar influido por el orden temporal y por tendencias persistentes. En consecuencia, el resultado no debe interpretarse como evidencia de que una mayor iluminación produzca mayor pobreza ni como validación de la radiancia para predecir cambios anuales de pobreza.

Estos resultados concuerdan con la literatura internacional, la cual demuestra que la utilidad de las luces nocturnas para distinguir condiciones socioeconómicas es mayor en diseños transversales [7,10], pero más débil al evaluar cambios temporales locales [11]. Asimismo, aunque la radiancia puede mejorar las estimaciones para áreas pequeñas al integrarse con modelos multivariados [8,9], su uso aislado presenta limitaciones metodológicas sustanciales. La concentración de radiancia en el núcleo urbano de Puno subraya que el acceso a electricidad representa solo una dimensión de la pobreza [12] y reafirma la importancia de incorporar variables demográficas en escalas coherentes con el fenómeno estudiado [13].

Limitaciones

La interpretación está condicionada por cinco limitaciones. Primero, la serie contiene doce observaciones y siete estimaciones de pobreza tienen un CV superior a 15 %; la provincia no es un dominio anual de inferencia oficial garantizado. Segundo, los años forman una secuencia ordenada y potencialmente dependiente; la permutación aleatoria y las primeras diferencias se utilizaron como diagnósticos exploratorios, pero no demuestran intercambiabilidad ni estacionariedad. Tercero, los dos indicadores VIIRS secundarios y las sensibilidades no fueron ajustados por comparaciones múltiples. Cuarto, la serie combina V2.1 hasta 2021 y V2.2 desde 2022; por ello, el cambio de producto puede contribuir a variaciones observadas desde 2022 y no debe interpretarse por sí solo como cambio socioeconómico. Quinto, no se controlaron población, electrificación, urbanización, estructura productiva ni otros factores que pueden afectar simultáneamente pobreza e iluminación. La sensibilidad sin 2020–2021 se calculó para la mediana de píxeles positivos y no para la radiancia media principal. En conjunto, el diseño es ecológico, exploratorio y no causal.

Conclusiones

La incidencia estimada de pobreza monetaria en la provincia de Puno osciló entre 22,4 y 41,7 % durante 2013–2024 y alcanzó 35,9 % en 2024. Siete de las doce estimaciones presentaron un CV superior a 15 %, por lo que la serie debe considerarse una estimación directa exploratoria y no una estadística oficial provincial apta para detectar cambios pequeños entre años contiguos.

En el mismo periodo, la radiancia media aumentó 103,8 % y la superficie con radiancia positiva creció 84,3 %. La señal se concentró en el distrito de Puno y mostró una distribución heterogénea entre distritos; por ello, la media provincial no representa de manera uniforme las condiciones urbanas y rurales.

La asociación principal en niveles fue positiva ($\rho_s = 0{,}6713$; $\widehat{p} = 0{,}0199$), pero en primeras diferencias fue negativa e imprecisa ($\rho_s = -0{,}3364$; $\widehat{p} = 0{,}3141$). Además, la asociación secundaria basada en la mediana dejó de alcanzar el umbral fijado al excluir 2020–2021. Estos resultados no sustentan una relación causal ni un desempeño predictivo estable. Las luces nocturnas pueden complementar la descripción territorial, pero no sustituyen la medición monetaria basada en encuestas ni justifican inferencias anuales precisas para un dominio provincial pequeño.

Disponibilidad de datos y materiales

Los recursos empleados en este estudio son de acceso público. Los microdatos de la Encuesta Nacional de Hogares (2013–2024) provienen del INEI. Por su parte, las imágenes satelitales corresponden al producto Annual

Nighttime Lights V2 (identificadores `NOAA/VIIRS/DNB/ANNUAL_V21` y `V22`), obtenidas mediante Google Earth Engine. El pipeline para replicar íntegramente el procesamiento y análisis está disponible en un repositorio público de GitHub: [**Enlace anonimizado para revisión por pares**].

Contribución de Autoría

Emerson Ruben Huacasi Ccama: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Software, Validación, Visualización, Redacción del borrador original y revisión y edición.

Referencias

[1] Instituto Nacional de Estadística e Informática, "Perú: Evolución de la pobreza monetaria, 2015–2024," INEI, Lima, Perú, Tech. Rep., 2025. [Online]. Available: https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/6763186-peru-evolucion-de-la-pobreza-monetaria-2015-2024

[2] ——, "Puno: Resultados definitivos de los censos nacionales 2017," INEI, Lima, Perú, Tech. Rep., 2018. [Online]. Available: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1563/21TOMO_01.pdf

[3] ——, "Plan de trabajo 2024: Encuesta nacional de hogares," INEI, Lima, Perú, Tech. Rep., 2024. [Online]. Available: https://proyectos.inei.gob.pe/iinei/srienaho/Descarga/DocumentosMetodologicos/2024-55/5_Plan-Trabajo.pdf

[4] ——, "Mapa de pobreza monetaria provincial y distrital 2018," INEI, Lima, Perú, Tech. Rep., 2020. [Online]. Available: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1718/Libro.pdf

[5] C. D. Elvidge, M. Zhizhin, T. Ghosh, F.-C. Hsu, and J. Taneja, "Annual time series of global VIIRS nighttime lights derived from monthly averages: 2012 to 2019," *Remote Sensing*, vol. 13, no. 5, p. 922, 2021, doi: 10.3390/rs13050922.

[6] Earth Observation Group, "VIIRS nighttime light: Annual VNL v2," Colorado School of Mines, consultado: 21-jul-2026. [Online]. Available: https://eogdata.mines.edu/products/vnl/

[7] S. Cecchini, G. Savio, and V. Tromben, "Mapping poverty rates in Chile with night lights and fractional multinomial models," *Regional Science Policy & Practice*, vol. 14, no. 4, pp. 850–877, 2022, doi: 10.1111/rsp3.12415.

[8] N. Permatasari, B. C. Laksono, and A. Ubaidillah, "Small area estimation of poverty using remote sensing data," *Statistical Journal of the IAOS*, vol. 41, no. 1, pp. 180–190, 2025, doi: 10.1177/18747655241308390.

[9] N. Puttanapong, A. M. Jr., J. A. N. Bulan, M. Addawe, R. L. Durante, and M. Martillan, "Predicting poverty using geospatial data in Thailand," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 11, no. 5, p. 293, 2022, doi: 10.3390/ijgi11050293.

[10] S. R. Putri, A. W. Wijayanto, and A. D. Sakti, "Developing relative spatial poverty index using integrated remote sensing and geospatial big data approach: A case study of East Java, Indonesia," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 11, no. 5, p. 275, 2022, doi: 10.3390/ijgi11050275.

[11] X. Zhang and J. Gibson, "Using multi-source nighttime lights data to proxy for county-level economic activity in China from 2012 to 2019," *Remote Sensing*, vol. 14, no. 5, p. 1282, 2022, doi: 10.3390/rs14051282.

[12] L. Maldonado, "Living in darkness: Rural poverty in Venezuela," *Journal of Applied Economics*, vol. 26, no. 1, p. 2168464, 2023, doi: 10.1080/15140326.2023.2168464.

[13] X. S. Pérez-Sindín, P. Wójcik, T.-H. K. Chen, and A. V. Prishchepov, "Can nighttime lights serve as a proxy for economic inequality at the local administrative unit scale? evidence from Spain," *PLOS ONE*, vol. 20, no. 12, pp. 1–16, 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0319890.

[14] Instituto Nacional de Estadística e Informática, "Diccionario de datos: Encuesta nacional de hogares 2017," INEI, Lima, Perú, Tech. Rep., 2018. [Online]. Available: https://proyectos.inei.gob.pe/iinei/srienaho/Descarga/DocumentosMetodologicos/2017-55/Diccionario.pdf

[15] ——, "Diccionario de datos: Encuesta nacional de hogares 2024," INEI, Lima, Perú, Tech. Rep., 2025. [Online]. Available: https://proyectos.inei.gob.pe/iinei/srienaho/Descarga/DocumentosMetodologicos/2024-55/20_Diccionario_2024.pdf

[16] Google Earth Engine Data Catalog, "VIIRS nighttime day/night annual band composites v2.1: NOAA/VIIRS/DNB/ANNUAL_V21," consultado: 28-jul-2026. [Online]. Available: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NOAA_VIIRS_DNB_ANNUAL_V21

[17] ——, "VIIRS nighttime day/night annual band composites v2.2: NOAA/VIIRS/DNB/ANNUAL_V22," consultado: 23-jul-2026. [Online]. Available: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NOAA_VIIRS_DNB_ANNUAL_V22

[18] T. Lumley, "Analysis of complex survey samples," *Journal of Statistical Software*, vol. 9, no. 8, pp. 1–19, 2004, doi: 10.18637/jss.v009.i08.

[19] J. Foster, J. Greer, and E. Thorbecke, "A class of decomposable poverty measures," *Econometrica*, vol. 52, no. 3, pp. 761–766, 1984, doi: 10.2307/1913475.

[20] Instituto Nacional de Estadística e Informática, "Condiciones de vida en el perú: julio–agosto–septiembre 2025," INEI, Lima, Perú, Tech. Rep., 2025. [Online]. Available: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/7548592-condiciones-de-vida-en-el-peru-iii-trimestre-2025.pdf

[21] S. Winsemius and J. Braaten, "Zonal statistics," in *Cloud-Based Remote Sensing with Google Earth Engine: Fundamentals and Applications*, J. A. Cardille, M. A. Crowley, D. Saah, and N. E. Clinton, Eds. Springer, 2024, pp. 463–485, doi: 10.1007/978-3-031-26588-4_24.

[22] Google Earth Engine, "`ee.Image.pixelArea`: documentación de la api," consultado: 28-jul-2026. [Online]. Available: https://developers.google.com/earth-engine/apidocs/ee-image-pixelarea

[23] C. Spearman, "The proof and measurement of association between two things," *The American Journal of Psychology*, vol. 15, no. 1, pp. 72–101, 1904, doi: 10.2307/1412159.

[24] B. Phipson and G. K. Smyth, "Permutation p-values should never be zero: Calculating exact p-values when permutations are randomly drawn," *Statistical Applications in Genetics and Molecular Biology*, vol. 9, no. 1, p. Article 39, 2010, doi: 10.2202/1544-6115.1585.

[25] C. W. J. Granger and P. Newbold, "Spurious regressions in econometrics," *Journal of Econometrics*, vol. 2, no. 2, pp. 111–120, 1974, doi: 10.1016/0304-4076(74)90034-7.

[26] P. Virtanen, R. Gommers, T. E. Oliphant *et al.*, "SciPy 1.0: Fundamental algorithms for scientific computing in python," *Nature Methods*, vol. 17, no. 3, pp. 261–272, 2020, doi: 10.1038/s41592-019-0686-2.

Revista Innovación y Software
Vol. 7, No. 2, Mes Septiembre - Febrero, 2026
ISSN: 2708-0935
Pág. 75-87
https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Tipo de artículo: Artículos originales
Temática: Inteligencia artificial
Recibido: 26/08/2026 | Aceptado: 18/09/2026 | Publicado: 30/09/2026

Identificadores persistentes:
DOI: 10.48168/innosoft.s30.a408
ARK: ark:/42411/s30.a408

Diseño y verificación funcional de un prototipo RAG híbrido para consulta documental técnica

Design and functional verification of a hybrid RAG prototype for technical document consultation

Moisés Alexander Félix Romero[1*]

[1]Universidad Católica Sedes Sapientiae, Perú. 2021102378@ucss.pe

[*]Autor para correspondencia: 2021102378@ucss.pe

Resumen
La consulta de documentación técnica mediante modelos de lenguaje requiere distinguir la recuperación de fuentes, la generación de respuestas y la verificación de su contenido. Este trabajo presentó el diseño y la verificación funcional de un prototipo web de generación aumentada por recuperación, orientado a consultas documentales en español. Se adoptó un estudio de desarrollo tecnológico con inspección de código, revisión de evidencias de una demostración académica y ejecución de pruebas aisladas. La implementación integró FastAPI, PostgreSQL con pgvector y servicios de Gemini; combinó recuperación densa y búsqueda léxica mediante fusión por rangos recíprocos, conservó localizadores documentales y contempló reordenamiento opcional. La suite existente produjo 18 pruebas aprobadas y ninguna fallida. Ocho escenarios complementarios de caracterización permitieron examinar la abstención, la degradación a búsqueda léxica y el tratamiento de respuestas y registros. Se identificaron diferencias entre disponer de fuentes recuperadas y verificar las afirmaciones generadas, así como limitaciones en la propagación de la abstención textual y en la confirmación de persistencia. Las evidencias documentales previas ilustran una ingesta, una consulta y un fallo controlado del proveedor sobre material ficticio. Estos resultados corresponden a verificación de software y no estiman precisión semántica, latencia productiva ni impacto en tiempos de atención. La contribución consiste en una descripción trazable del artefacto y de sus límites, acompañada de un protocolo para su posterior evaluación documental y operativa.

Palabras claves: asistencia técnica; generación aumentada por recuperación; recuperación de información; trazabilidad documental; verificación de software.

Abstract
Technical document consultation through language models requires distinguishing source retrieval, answer generation, and content verification. This paper presented the design and functional verification of a web-based retrieval-augmented generation prototype for Spanish-language document queries. The study followed a technological development approach combining source-code inspection, review of evidence from an academic demonstration, and execution of isolated software tests. The implementation integrated FastAPI, PostgreSQL with pgvector, and Gemini services. It combined dense retrieval and lexical search through reciprocal rank fusion, preserved document locators, and supported optional reranking. The existing test suite completed with 18 passing tests and no failures. Eight additional characterization scenarios examined abstention, fallback to lexical retrieval, and the handling of generated responses and execution logs. The analysis identified a distinction between returning retrieved sources and verifying generated claims, together with limitations in the propagation of textual abstention and confirmation of log persistence. Previously recorded demonstration evidence illustrates document ingestion, a query response, and a controlled provider failure using fictional material. These findings

concern software verification and do not estimate semantic accuracy, production latency, or reductions in service resolution time. The contribution is a traceable description of the implemented artifact and its limitations, supported by an explicit protocol for subsequent document-level and operational evaluation. The study provides a bounded basis for further development without treating automated test success as evidence of real-world effectiveness.

Keywords: *document traceability; information retrieval; retrieval augmented generation; software verification; technical assistance.*

Introducción

La consulta de manuales y procedimientos exige localizar información pertinente y comprobar su procedencia antes de aplicarla. Un modelo de lenguaje puede producir una respuesta fluida sin que esa respuesta corresponda a una versión documental determinada. La generación aumentada por recuperación, conocida como RAG por sus siglas en inglés, incorpora una memoria documental externa al proceso generativo [1]. Esta separación permite actualizar el corpus y mostrar evidencia recuperada, pero no garantiza por sí misma la corrección de cada afirmación.

La literatura distingue configuraciones RAG básicas, avanzadas y modulares, con diferentes mecanismos de preparación, recuperación y organización de la generación [2]. Estas categorías describen decisiones arquitectónicas; no constituyen una escala de calidad demostrada para cualquier aplicación. En un prototipo, una recuperación más compleja puede añadir dependencias y puntos de fallo, por lo que resulta necesario describir tanto el recorrido esperado como las condiciones bajo las cuales el sistema deja de cumplirlo.

Entre los antecedentes peruanos, Manchay García desarrolló un prototipo local para consultas de mesa de ayuda mediante LlamaIndex, ChromaDB y Gemma3, acompañado de evaluación con Ragas [3]. Su configuración ofrece un contraste con soluciones que delegan embeddings y generación a una API externa. En un contexto académico latinoamericano, Guerra, Monti y Fernández presentaron un sistema para consultar programas de asignaturas en PDF mediante recuperación semántica y enrutamiento por carrera [4]. Estos trabajos apoyan la pertinencia de estudiar asistentes documentales, aunque sus resultados no pueden trasladarse a otro corpus, proveedor o proceso de atención.

La fusión por rangos recíprocos, o RRF, permite combinar listas ordenadas sin sumar directamente puntuaciones de distinta escala [5]. El reordenamiento con modelos que procesan conjuntamente consulta y pasaje representa otra alternativa para refinar los candidatos [6]. Sin embargo, decidir si estos componentes mejoran una aplicación requiere evaluar recuperación y generación por separado; RAGAs ilustra esa necesidad de evaluación diferenciada [7]. Una prueba de API satisfactoria no reemplaza una medición de respuesta sustentada.

El problema abordado en este artículo es la correspondencia entre el diseño de un asistente documental, su implementación y la evidencia que permite afirmar que sus controles funcionan. Se presenta un prototipo académico inspirado en la consulta técnica de una mesa de ayuda, sin incorporar documentación operativa ni participantes de empresas de telecomunicaciones. El objetivo es describir el artefacto implementado y verificar sus comportamientos observables mediante inspección y pruebas aisladas. Se plantean dos preguntas: ¿qué mecanismos de recuperación, trazabilidad y manejo de fallos implementa el prototipo?, y ¿qué comportamientos y límites pueden comprobarse sin una evaluación operativa?

La contribución es una caracterización técnica reproducible de la integración, de sus estados de respuesta y de los límites de la evidencia disponible. No se propone un nuevo algoritmo de recuperación ni se declara superioridad frente a otras arquitecturas. El alcance comprende una fase de desarrollo y verificación; la precisión sobre un corpus representativo y el impacto en tiempos de atención corresponden a una fase posterior.

Materiales y metodología computacional

Diseño y fuentes de evidencia

El estudio se orienta al diseño y examen de un artefacto de software, en consonancia con la distinción entre construcción de soluciones y evaluación de su utilidad planteada en la investigación de diseño [8]. Se aplicaron tres procedimientos: inspección de los módulos y del esquema de datos, revisión de las capturas de una demostración académica previa y ejecución local de pruebas automatizadas. No se realizó un experimento con analistas ni una comparación de productividad.

La unidad de verificación es un comportamiento del programa bajo una entrada y un estado controlados. La unidad documental de la demostración previa es un PDF ficticio de una página, según su registro de ingesta. La revisión del código utilizó una copia local preservada del paquete del prototipo; las pruebas descritas no modificaron la implementación. Para identificar la versión examinada se calcularon huellas SHA-256 de sus archivos, incluidas en el material de verificación.

Se distinguen cuatro niveles de evidencia: configuración declarada en código; observación visual previa; resultado de una aserción automatizada; y eficacia operativa. Solo los tres primeros se encuentran disponibles. Una variable de entorno con un modelo predeterminado no acredita que ese modelo se haya utilizado en una captura histórica; del mismo modo, un resultado simulado no acredita disponibilidad de la API externa.

Revista Innovación y Software
Vol. 7, No. 2, Mes Septiembre - Febrero, 2026
ISSN: 2708-0935
Pág. 75-87
https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft

Arquitectura y persistencia

El prototipo integra una interfaz HTML y JavaScript servida por FastAPI, un servicio de recuperación y generación en Python y una base PostgreSQL con pgvector. La ingesta utiliza pypdf para extraer texto por página [9]. Los PDF sin texto extraíble se rechazan; el reconocimiento óptico de caracteres no está implementado. La figura 1 representa la organización de los componentes y sus dependencias.

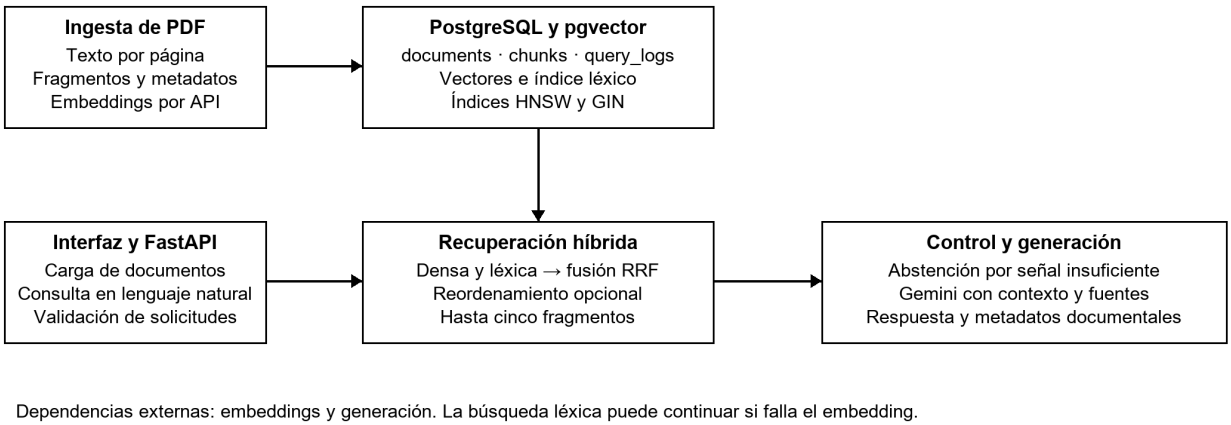


Figura 1. Arquitectura del prototipo inspeccionado. Elaboración propia a partir de los módulos de ingesta, recuperación y respuesta.

Cada documento se almacena en documents; sus fragmentos se conservan en chunks con nombre relacionado, versión, página y un localizador aproximado de párrafo. El servicio solicita representaciones vectoriales a Gemini, cuyo mecanismo de embeddings permite configurar tareas de recuperación [10]. La dimensión predeterminada de 1536 componentes coincide con la columna vectorial del esquema. Cambiarla requiere ajustar de manera consistente la configuración y la base; la verificación local no volvió a generar embeddings en línea.

La extensión pgvector habilita consultas de similitud vectorial en PostgreSQL [11]. El esquema crea un índice HNSW, basado en grafos navegables jerárquicos [12], y un índice GIN para búsqueda de texto completo. La existencia del índice en el esquema no demuestra que el planificador lo utilice en cada consulta: ese comportamiento requiere examinar planes de ejecución y datos reales. La tabla query_logs conserva pregunta, respuesta, abstención y latencia, pero no el conjunto completo de evidencias ni un identificador de usuario.

Tabla 1. Configuración identificada en el código

Elemento	Valor o comportamiento	Alcance
Fragmentación	1400 caracteres; solapamiento de 180	Por página, con localizador aproximado
Embeddings	gemini-embedding-001; 1536 dimensiones	Valores predeterminados, no medición en línea
Generación	gemini-2.5-flash; temperatura 0	Modelo configurable mediante entorno
Recuperación	Hasta 20 candidatos por canal	Unión, RRF y truncamiento a 20
Selección final	Hasta 5 fragmentos	Reordenamiento opcional sobre candidatos retenidos
Abstención	MIN_RETRIEVAL_SCORE = 0,35	Umbral provisional de similitud densa
Proveedor	3 intentos; esperas de 1 y 2 segundos	Fallos transitorios específicos y timeouts

Fragmentación y recuperación

La extracción conserva el número de página del PDF. Dentro de cada página, el texto se divide utilizando separaciones de párrafo y límites de caracteres; cuando un segmento supera el máximo, se generan ventanas con solapamiento. Este procedimiento no equivale a fragmentación por tokens ni a una jerarquía padre e hijo. El índice de párrafo procede del texto extraído y puede incluir contenido solapado del párrafo anterior, por lo que no debe interpretarse como un localizador editorial exacto.

Para cada pregunta se intenta calcular un embedding de consulta y recuperar vecinos por distancia de coseno. El canal léxico emplea plainto_tsquery y ts_rank_cd con la configuración simple de PostgreSQL [13]. No implementa BM25. En el código revisado, las consultas densa y léxica se ejecutan secuencialmente; no se atribuye ejecución paralela. Si la obtención del embedding falla, el recuperador continúa con el canal léxico y registra una advertencia en el registro de la aplicación.

Sea c un fragmento y $r_j(c)$ su posición, comenzando en uno, en la lista del canal j. La ecuación 1 representa la fusión implementada, que suma únicamente los canales donde aparece c [5]. La unión contiene como máximo 40 candidatos cuando ambos canales devuelven 20. Tras ordenarlos por RRF, se retienen como máximo 20 para el reordenamiento opcional y se devuelven cinco. Esta precisión distingue el tamaño de la unión del número

efectivo de pares que recibe el reordenador.

$$RRF(c) = \sum_{j} \frac{1}{60 + r_j(c)} \tag{1}$$

Con L candidatos por canal y U fragmentos distintos, U $\leq$ 2L, la acumulación de RRF mediante diccionario requiere tiempo esperado O(L) y espacio O(U); ordenar la unión requiere O(U log U). Estas cotas describen la fusión, no el costo de la consulta a la base, del cálculo de embeddings ni de la generación. No se infiere una latencia determinada a partir del uso de un índice aproximado.

Respuesta y manejo de dependencias

El generador recibe la pregunta y un contexto formado por los fragmentos seleccionados, junto con documento, versión, página y párrafo cuando están disponibles. La integración utiliza el SDK de Google Gen AI [14]. La instrucción del sistema solicita responder en español, citar las afirmaciones técnicas y abstenerse ante evidencia insuficiente. Se trata de una instrucción al modelo; la implementación no añade una comprobación semántica posterior de todas las afirmaciones.

La política previa a la generación se basa en tres condiciones. Si no hay fragmentos, se produce abstención. Si existe algún puntaje denso positivo y el máximo es inferior a 0,35, también se produce abstención. Si no hay puntajes densos positivos, el flujo puede continuar cuando existe puntuación léxica positiva. El umbral no constituye una probabilidad de corrección ni ha sido calibrado con consultas etiquetadas. La rama léxica mantiene una posibilidad de respuesta, pero no garantiza relevancia semántica.

Las llamadas al proveedor admiten hasta tres intentos en total ante timeouts y códigos transitorios seleccionados. El tiempo de espera del cliente se configura en 20 000 milisegundos por solicitud; no representa un límite global de toda la operación, porque pueden acumularse intentos y etapas. La API transforma la indisponibilidad conocida en una respuesta HTTP 503 y puede indicar Retry-After. El acceso por token es configurable y no equivale a autenticación corporativa con roles.

Procedimiento de verificación

La suite existente se ejecutó el 23 de octubre de 2026 en Windows con Python 3.12.14, pytest 8.3.4, FastAPI 0.115.6, Pydantic 2.10.4 y HTTPX 0.28.1. Se preservaron sus 18 casos sin alterar el código de producción. Las pruebas de API utilizan TestClient, mecanismo documentado por FastAPI [15], y sustituciones controladas mediante monkeypatch, disponibles en pytest [16]. Se exportó un informe JUnit con el resultado de cada caso.

La ejecución no desplegó Docker ni abrió una conexión a una base o modelo real.

Se añadieron ocho escenarios de caracterización en un archivo separado. Para cada uno se fijaron los fragmentos recuperados o el fallo de persistencia, se sustituyó el cliente generativo por una respuesta predeterminada y se observó el estado devuelto. Las salidas del generador utilizadas en estos escenarios son datos sintéticos de prueba y no respuestas obtenidas de Gemini. Se registraron los resultados en JSON, sin utilizar sus tiempos como medida de rendimiento.

La revisión visual de las capturas se realizó de forma independiente. Se transcribieron únicamente los campos visibles y se evitó asumir que las tres capturas pertenecían a una misma ejecución o configuración. La captura de consulta contiene versión nula aunque la pantalla de carga muestra una versión introducida; por ello no se utilizó ese material para acreditar continuidad de versiones entre ambos recorridos.

Resultados y discusión

Resultados de la suite existente

Las 18 pruebas finalizaron aprobadas, sin fallos. El ejecutor informó 2,13 segundos y una advertencia de obsolescencia de una interfaz de AnyIO utilizada por Starlette. Ese tiempo corresponde a la suite aislada, no al tiempo de respuesta del asistente. La tabla 2 organiza los casos por archivo y explicita qué parte de la solución verifican.

Tabla 2. Pruebas automatizadas existentes ejecutadas

Grupo	**Casos aprobados**	**Comportamientos cubiertos**
API	7 de 7	Salud, interfaz, validación de pregunta, token de carga, errores y versión enviada por formulario
Lógica RAG	5 de 5	Tamaño de fragmento, metadatos, conversión de puntajes, recuperación léxica alternativa y ocultación de credenciales
Reintentos	4 de 4	Recuperación tras fallo temporal, agotamiento, error permanente y timeout
Matriz de evaluación	2 de 2	Rechazo de mediciones incompletas y de un número insuficiente de consultas

El resultado permite afirmar que las aserciones incluidas se cumplen en ese entorno. No permite estimar cobertura de código, tasa de respuestas correctas ni proporción de incidencias resueltas. En particular, los casos de la matriz comprueban el rechazo de entradas incompletas o insuficientes; no demuestran que un candidato arquitectónico haya obtenido mejores resultados medidos.

Caracterización de estados y trazabilidad

Los escenarios adicionales confirmaron la abstención previa a la generación cuando no existen fragmentos y cuando la señal densa positiva resulta insuficiente. También reprodujeron la posibilidad de continuar con coincidencias exclusivamente léxicas. La tabla 3 recoge las ocho observaciones; cada fila describe un caso controlado, no una frecuencia esperada de ocurrencia.

Tabla 3. Observaciones de los escenarios complementarios

Caso	Condición controlada	Observación
A01	Lista de fragmentos vacía	Abstención; no se invoca el generador
A02	Similitud densa 0,20 y puntuación léxica positiva	Abstención previa a generar
A03	Sin señal densa positiva y con coincidencia léxica	Se genera y devuelve estado answered
A04	El generador devuelve texto vacío	Se inserta un mensaje de imposibilidad, pero permanece answered y abstained=false
A05	El generador expresa abstención en texto	Permanece answered y abstained=false
A06	Dos fuentes recuperadas y una mencionada en la respuesta	citations devuelve las dos fuentes; no verifica correspondencia por afirmación
A07	Fallo simulado de conexión al registrar	La función no propaga el fallo ni confirma que el registro se guardó
A08	Sin señal densa positiva ni coincidencia léxica	Abstención; no se invoca el generador

La discrepancia entre texto y estado en A04 y A05 es relevante para cualquier consumidor de la API. Si un tablero cuenta answered como respuesta útil, podría contabilizar como éxito una salida que reconoce no poder contestar. Una evolución del diseño debería distinguir respuesta generada, respuesta vacía y abstención, con

criterios explícitos y pruebas correspondientes. Esta recomendación se deriva del comportamiento observado y no se presenta como una corrección ya implementada.

A06 muestra una segunda distinción: devolver los documentos utilizados para construir el contexto no demuestra que cada afirmación esté apoyada por ellos. La lista citations es trazabilidad de recuperación. Para verificar sustento se necesita comparar afirmaciones y pasajes, de forma manual o mediante un método evaluado. Del mismo modo, el localizador aproximado de párrafo requiere cautela cuando la extracción altera separaciones o el fragmento contiene solapamiento.

A07 indica que la disponibilidad de la respuesta se prioriza frente a la confirmación del registro. Esa decisión evita que un fallo de bitácora interrumpa necesariamente la interacción, pero deja un límite de auditoría: la ausencia de excepción no demuestra persistencia. No corresponde describir el registro actual como inmutable, completo o suficiente para reconstruir todas las decisiones de recuperación.

Alcance de la demostración documental

Las capturas previas aportan tres observaciones puntuales. La pantalla de ingesta informa document_id=4, pages_with_text=1 y chunks_created=2 para un documento de prueba. La pantalla de consulta muestra una respuesta sobre ROUTER-TEST-01 con la dirección ficticia 192.168.1.1 y una referencia a la página 1. La tercera pantalla presenta un mensaje controlado de indisponibilidad o agotamiento de cuota. Estos registros son evidencia visual conservada del desarrollo; no se reprodujeron como un nuevo ensayo en línea durante esta verificación.

El ejemplo permite ilustrar el flujo de interacción, pero no permite calcular F1, Context Recall, fidelidad ni latencia P95. Tampoco verifica la vigencia de documentación operativa, la calidad de múltiples versiones o el desempeño bajo concurrencia. El material ficticio delimita el caso y evita atribuir resultados a una organización o a personal que no participó en la evaluación.

Relación con los antecedentes y límites

Frente al prototipo local de Manchay García [3], esta implementación conserva la base documental en PostgreSQL pero depende de un proveedor externo para vectorización y generación. La diferencia modifica la frontera de operación: una interrupción de embeddings puede activar recuperación léxica, mientras que una interrupción del generador impide completar la respuesta. No se comparan costos, privacidad efectiva ni calidad entre ambos sistemas, porque no se utilizaron iguales documentos, preguntas y condiciones.

El trabajo de Guerra y colaboradores [4] comparte el interés por consultas sobre PDF, pero su enrutamiento

por carrera y su dominio académico no están implementados aquí. El aporte del presente estudio se concentra en hacer observable la relación entre flujo técnico, estados de la API y evidencia de verificación. Las técnicas RRF y de reordenamiento proceden de métodos existentes [5], [6]; la integración descrita no demuestra una mejora algorítmica original.

La principal amenaza a la validez es la distancia entre los dobles de prueba y los servicios reales. Los casos aislados no ejercitan la calidad de embeddings, el planificador SQL, la extracción de documentos complejos ni la variabilidad de la generación. Tampoco prueban que una coincidencia léxica sea suficiente para contestar correctamente. La inspección encontró una base para ampliar la evaluación, no un sustituto de ella.

Otros límites son el corpus demostrativo mínimo, la ausencia de anotadores y participantes, el carácter provisional del umbral y la falta de un registro completo de recuperación. La configuración de dependencias incluye un intervalo de versiones para el SDK generativo; una réplica integral debe fijar la versión efectivamente instalada. Las huellas de archivo permiten identificar el código verificado, pero no reconstruyen el estado histórico del proveedor o de la base.

Protocolo para la siguiente fase

La siguiente fase debe comenzar con un corpus autorizado y versionado, un inventario documental y un banco de consultas con respuestas de referencia y localizadores verificados. La calibración del umbral y de los parámetros de recuperación debe realizarse en un subconjunto separado del conjunto final de evaluación. Deben incluirse preguntas sin respuesta, versiones contradictorias y consultas que fallen en la recuperación semántica o léxica.

La evaluación documental debe informar por separado recuperación, sustento de afirmaciones, exactitud de citas, abstención y latencia. Context Recall puede operacionalizarse como la proporción de afirmaciones de referencia apoyadas por el contexto recuperado, según la definición documentada por Ragas [17]. Esa métrica no debe confundirse con F1 de respuesta ni con éxito de resolución de tickets. La evaluación automática necesita controles manuales y un registro de la configuración del evaluador.

Para estudiar la utilidad operativa será necesario medir el tiempo de localización documental con analistas y tareas comparables, controlar el orden de uso y la repetición de consultas y determinar el tamaño muestral antes del contraste. El tiempo de consulta debe diferenciarse del tiempo total de resolución de una incidencia. Los objetivos de mejora de la tesis pueden orientar esa fase, pero no se consideran logros de este artículo.

Conclusiones

Se describió y verificó un prototipo RAG híbrido que integra ingesta de PDF con texto, recuperación densa y léxica, fusión RRF, selección de fuentes y generación mediante un proveedor externo. La inspección permitió delimitar con precisión los componentes existentes y los mecanismos que permanecen opcionales o pendientes.

Las 18 pruebas existentes finalizaron aprobadas y ocho escenarios adicionales caracterizaron el manejo de evidencia y de fallos. Los resultados permiten identificar controles funcionales y límites concretos: una abstención textual puede no reflejarse en el estado estructurado, las fuentes recuperadas no constituyen verificación de afirmaciones y el registro no confirma persistencia ante errores. Estas observaciones orientan mejoras específicas de implementación y evaluación.

La evidencia respalda una contribución de desarrollo y verificación de software con alcance acotado. No demuestra reducción de tiempos de atención, exactitud sobre normativa real ni superioridad frente a otras arquitecturas. La evaluación documental y operativa propuesta permitirá contrastar esas propiedades en una fase posterior, con datos y procedimientos trazables.

Disponibilidad de materiales

El material suplementario conserva el código examinado, las pruebas existentes, el procedimiento de caracterización, sus resultados y las huellas SHA-256. Las pruebas aisladas pueden ejecutarse sin credenciales de servicios externos. La demostración visual previa se conserva en la documentación del proyecto y se describe como evidencia histórica, no como un experimento reproducido en esta ejecución.

Contribución de Autoría

Moisés Alexander Félix Romero: Investigación, Metodología, Escritura – revisión y edición.

Referencias

[1] P. Lewis *et al.*, “Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks,” *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 33, pp. 9459–9474, 2020. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2005.11401

[2] Y. Gao *et al.*, “Retrieval-augmented generation for large language models: A survey,” arXiv:2312.10997, 2023, versión 5, 2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2312.10997

[3] V. F. Manchay García, "Desarrollo de un prototipo de chatbot inteligente basado en arquitectura de generación aumentada por recuperación (RAG), para la automatización de consultas frecuentes en la mesa de ayuda de una empresa de servicios," tesis de grado, Universidad de Piura, 2026. [Online]. Available: https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/1dc4bbf2-dc5d-48c1-ae19-fbe01fa07027/content

[4] F. Guerra, K. Monti, and J. M. Fernández, "Sistema de generación aumentada por recuperación (RAG) para el acceso a información académica," in *Libro de actas del XXXI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, 2025, pp. 1165–1169. [Online]. Available: https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/191535

[5] G. V. Cormack, C. L. A. Clarke, and S. Büttcher, "Reciprocal rank fusion outperforms condorcet and individual rank learning methods," in *SIGIR '09*, 2009, pp. 758–759. [Online]. Available: https://doi.org/10.1145/1571941.1572114

[6] R. Nogueira and K. Cho, "Passage re-ranking with BERT," arXiv:1901.04085, 2019. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/1901.04085

[7] S. Es, J. James, L. Espinosa-Anke, and S. Schockaert, "RAGAs: Automated evaluation of retrieval augmented generation," in *Proceedings of EACL 2024: System Demonstrations*, 2024, pp. 150–158. [Online]. Available: https://doi.org/10.18653/v1/2024.eacl-demo.16

[8] A. R. Hevner, S. T. March, J. Park, and S. Ram, "Design science in information systems research," *MIS Quarterly*, vol. 28, no. 1, pp. 75–105, 2004. [Online]. Available: https://doi.org/10.2307/25148625

[9] pypdf, "Extract text from a PDF," documentación técnica, consulta: 23 oct. 2026. [Online]. Available: https://pypdf.readthedocs.io/en/stable/user/extract-text.html

[10] Google, "Embeddings," Gemini API, documentación técnica, consulta: 23 oct. 2026. [Online]. Available: https://ai.google.dev/gemini-api/docs/embeddings

[11] pgvector, "Open-source vector similarity search for Postgres," repositorio y documentación técnica, consulta: 23 oct. 2026. [Online]. Available: https://github.com/pgvector/pgvector

[12] Y. A. Malkov and D. A. Yashunin, "Efficient and robust approximate nearest neighbor search using hierarchical navigable small world graphs," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 42, no. 4, pp. 824–836, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/TPAMI.2018.2889473

[13] PostgreSQL Global Development Group, "Controlling text search," PostgreSQL 16 Documentation, secc. 12.3, consulta: 23 oct. 2026. [Online]. Available: https://www.postgresql.org/docs/16/textsearch-controls.html

[14] Google, "Google Gen AI SDK," documentación técnica, consulta: 23 oct. 2026. [Online]. Available: https://googleapis.github.io/python-genai/

[15] FastAPI, "Testing," documentación técnica, consulta: 23 oct. 2026. [Online]. Available: https://fastapi.tiangolo.com/tutorial/testing/

[16] pytest, "How to monkeypatch/mock modules and environments," documentación de pytest 8.3, consulta: 23 oct. 2026. [Online]. Available: https://docs.pytest.org/en/8.3.x/how-to/monkeypatch.html

[17] Ragas, "Context Recall," documentación técnica, consulta: 23 oct. 2026. [Online]. Available: https://docs.ragas.io/en/stable/concepts/metrics/available_metrics/context_recall/

Revista Innovación y Software
Vol. 7, No. 2, Mes Septiembre - Febrero, 2026
ISSN: 2708-0935
Pág. 88-106
https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Tipo de artículo: Artículos originales
Temática: Ingeniería de software
Recibido: 30/08/2026 | Aceptado: 22/09/2026 | Publicado: 30/09/2026

Identificadores persistentes:
DOI: 10.48168/innosoft.s30.a410
ARK: ark:/42411/s30.a410

Grado de usabilidad en entornos LMS a través del método de eva-luación heurística en estudiantes de colegios particulares de Trujillo

Degree of usability in LMS environments through the heuristic evaluation method in students of private schools in Trujillo

Wilmer Aufredy Apaza Chávez[1*]

[1]Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. wapazac@unitru.edu.pe

[*]Autor para correspondencia: wilfre500@gmail.com

Resumen
En la institución educativa de educación básica regular denominada colegio de ciencias Lord Kelvin de la ciudad de Trujillo, brinda el servicio educativo en los tres niveles inicial, primaria y secundaria, dado la crisis sanitaria del año 2020 (COVID-19) la educación dio un giro inesperado en la modalidad de la prestación de servicio utilizando las herramientas tecnológicas como el medio para realizar las clases de manera virtual o remota. Sin embargo, esta modalidad tenía ciertas barreras por la ausencia de capacitación y manipulación de las herramientas tecnológicas tanto en el personal docente como en los alumnos , el primero por uso de didácticas y recursos en modalidad presencial y escasa capacitación en las habilidades de competencias digitales , el segundo si bien es cierto hacen uso de la tecnología , no la direccionaban correctamente para adquirir un aprendizaje adecuado de una materia , sino lo veían desde el punto lúdico y de entretenimiento. Dado que se empleaba un sistema LMS bastante limitado para proporcionar y administrar los contenidos educativos a los alumnos y por consiguiente comprender una materia. Con el objetivo de abordar esta problemática se realizó un estudio para calcular el grado de usabilidad de los entornos de LMS, mediante un método de evaluación heurística con la meta de conocer los atributos a mejorar con el apoyo de expertos. Para ello se eligieron unos componentes que hacen posible el sencillo y correcto uso de estos entornos LMS. donde el alumno tenga la oportunidad de realizar sus actividades asignadas como visualizar las mismas, comprender cada uno de los componentes dando como resultado un nivel esperado significativo al utilizar el método V de Aiken en el uso de los entornos LMS

Palabras claves: Usabilidad, Entorno LMS, Evaluación Heurística.

Abstract
In the regular basic education institution called Lord Kelvin Science School in the city of Trujillo, edu-cational services are provided at the three levels: early childhood, primary, and secondary. Given the health crisis of 2020 (COVID-19), education took an unexpected turn in the mode of service delivery, using technological tools as the means to conduct classes virtually or remotely. However, this modality had certain barriers due to the lack of training and handling of technological tools both for the teaching staff and the students. The former, due to the use of didactics and resources in face-to-face mode and limited training in digital competency skills; the latter, although they do use technology, did not direct it correctly to acquire an adequate understanding of a subject, but rather viewed it from a playful and entertainment perspective. Given that a rather limited

LMS system was used to provide and manage educational content for students and consequently understand a subject. With the aim of addressing this issue, a study was conducted to calculate the usability level of LMS environments, using a heuris-tic evaluation method with the goal of identifying the attributes to improve with the support of experts. For this purpose, components were chosen that enable the simple and correct use of these LMS envi-ronments. where the student has the opportunity to carry out their assigned activities, such as visualiz-ing them, understanding each of the components, resulting in a significant expected level when using Aiken's V method in LMS environments.

Keywords: *Usability, LMS Environment, Heuristic Evaluation.*

Introducción

En este artículo se busca conocer el cambio en la prestación del servicio de educación básica regular ante la creciente inclusión de las TIC´s, a causa de la pandemia en los últimos años. Principalmente en las plataformas E-learning que son en la actualidad ampliamente utilizadas tanto en los colegios como instituciones educativas superiores dando realce como medio para el uso de los cursos virtuales [1]. Por este motivo, la usabilidad es una de los factores más primordiales en cuanto a la calidad y competencia de una plataforma E-Learning, debe ser aprendido, entendido, usado y atractivo, por diversos estudiantes en situaciones de uso específicas [2]. Sin embargo, en la ciudad de Trujillo, se ha constatado que el uso de las plataformas E-Learning que los alumnos han adoptado debido a la nueva modalidad de educación virtual aprobada por el congreso del Perú el 10 de marzo del 2020, por decreto legislativo que permitió sustituir un artículo de la ley donde es posible las clases virtuales, si y solo si, no se incumplan las condiciones básicas de calidad como lo establece el MINEDU [3]. Esta misma realidad se encuentra a nivel nacional en los colegios donde el inicio de enseñanza virtual otorga una incidencia en las públicas es de 24,1 % y las particulares de 45,9 % , por otro lado las que no iniciaron la modalidad virtual corresponde a un 62,2 % en las públicas y un 37,3 % en las privadas, culminado con los colegios que no declararon su fecha de inicio, que corresponde a un 62,4 % en las públicas y un 37,6 % en las privadas, todas estas pertenecientes a colegios, de las cuales, algunas han tenido que crear y otras robustecer plataformas virtuales para los cursos online ya que debido a la pandemia no se pueden brindar los cursos presencialmente; inclusive, a nivel mundial, expertos en la virtualidad anticipaban el boom de los canales online, avisando que surgirían más pronto que tarde. Las plataformas virtuales poseen un gran protagonismo, aseguran que la progresión de la educación remota en necesaria. Además, se identifican a los equipos de desarrollo, administradores y expertos como agentes de apoyo que gestionan los sistemas de los cursos E-learning los cuales realizan esfuerzos para ofrecer sistemas de calidad, que ejecutan patrones específicos y cualidades que certifican la conformidad del estudiante y una comprobación de uso satisfactorio mediante la manipulación de la plataforma [4]. Esto representa una característica primordial ya que, si un sistema es difícil de usar, no es entendible o falla al momento de mostrar resultados, esto genera un rechazo o desinterés por parte del estudiante hacia la plataforma virtual, lo que a su vez provoca un rechazo en la interacción y

que el proyecto en progreso de sistema sea catalogado un fracaso tecnológico que se interpreta en abandono del curso virtual. En congruencia con FIPES que es la Federación de Instituciones Privadas de Educación Superior, existe un aproximado de 650 mil estudiantes en todo el Perú que abandonarán sus estudios, 350 mil estudiantes de colegios del sector privado y 300 mil estudiantes de insti-tutos, debido a causas económicas y tecnológicas; en este último coexisten variados grados de progreso de los recursos virtuales, estos dependen del tipo de colegio ya que la mayoría de colegios no han implementado el desarrollo de cursos virtuales, al menos un 70 % de los colegios no lo han puesto en práctica, además de encontrar otras dificultades como cursos que no se puedan ofrecer en línea como el caso de laboratorios o talleres. De este modo, otro punto de vista fundamental es cómo valorar la virtualidad. Es un tema que va más allá desde el punto de vista nacional y está tomando importancia por la enseñanza para determinar si el sistema virtual está funcionando, además, de parte del estudiante, contar con los recursos tecnológicos para poder conectarse. Por ahora, en nuestro país y seguramente en los demás, surgirá la incógnita de como evaluar este periodo de la educación virtual. Por consiguiente, la virtualidad ha traído consigo diversos temas como, por ejemplo, los modelos enseñanza aprendizaje, la valoración de la usabilidad de las plataformas virtuales, el bienestar emocional de los profesores y estudiantes, el afrontamiento de la deserción estudiantil. Por lo tanto, la importancia de una evaluación de usabilidad en los sistemas, así como brindar aplicativos con una categoría superior de importancia debido a las nuevas necesidades hacia los estudiantes, ha generado la creación de diversas herramientas y técnicas que se encargan en cuantificar el grado de sencillez de uso; este procedimiento es conocido en el ámbito HCI (Interacción humano-computador) como procedimiento de evaluación de usabilidad y autoriza a los expertos a establecer de manera sistemática si las cualidades del diseño de la interfaz de una plataforma E-learning colabora con obtener una categoría adecuada de usabilidad. Entre los procedimientos de inspección uno de los recursos más usados en el entorno normativo es la evaluación heurística planteada por el investigador Jakob Nielsen, experto en el área, la cual radica en la colaboración de un número de tres expertos en usabilidad para establecer la proporción superior de conflictos de usabilidad que están vigentes en un boceto de interfaz, para más adelante brindar resultados. A pesar de que la valoración heurística es uno de los métodos más característico, no existe un acuerdo entre los expertos sobre como el desarrollo de evaluación de usabilidad debe ejecutarse. El experto original contribuye con sugerencias generales sobre el procesamiento a seguir, empero, no existe un reglamento puntual con funciones bien definidas que faculte a encaminar, paso a paso, el desarrollo de evaluación de usabilidad. Por ello se propone un método de evaluación para gestionar de manera conveniente y competente el desarrollo de los sistemas E-Learning, que conllevan a cumplir con la calidad de sistema para el manejo del estudiante. (Marino, 2015) [5].

La investigación se justifica por que busca conocer un nuevo método de evaluación heurístico para determinar el grado de usabilidad de plataformas E-Learning para estudiantes universitarios. Metodológicamente se justifica porque se desarrollará un método de evaluación heurística donde se propone la interacción de expertos y

estudiantes universitarios con la finalidad de analizar los requerimientos plasmados en los estudiantes de cómo lograr que la plataforma E-Learning sea intuitiva al momento de manipularla. Prácticamente se justifica el uso intuitivo de las plataformas E-Learning por parte de las estudiantes y eso se logrará considerando a estos como parte del equipo de desarrollo durante las evaluaciones [6]. Socialmente se justifica por el involucramiento de los estudiantes de EBR para recoger sus requerimientos y, con el procedimiento de valoración heurística, obtener las características que requieren en la plataforma E-Learning [7].

Uno de los procedimientos clásicos de la valoración de la usabilidad para plataformas virtuales web es observado al no tomar en consideración al usuario, en conexión con la veteranía obtenida con el sistema [8]. Además, un sistema con una sucesión sistemática de recopilación de información, con el objetivo que el usuario use el aula virtual para hacer sus asignaciones en el sistema computacional [9]. Entonces se tiene por requerimiento construir un arquetipo de sistema, que incorpore la usabilidad como parte primordial del sistema, ya que es la cualidad de calidad la que decide si la manipulación del sistema es sencillamente aprendida. [10]. El método consta de un reducido grupo de expertos que examinan los diseños de las ventanas gráficas del sistema para comprobar la culminación de establecimiento de principios de usabilidad heurística, si el experto dictamina que el prototipo incumple con los principios, debe ser corregido por el diseñador como parte del proceso de desarrollo de la plataforma. Además, actualmente la evaluación heurística es la más utilizada por los expertos, esto gracias a la ventaja que ofrece al permitir la recolección del 75 % de conflictos de la usabilidad que están representan en una interfaz, demandando el uso de cinco expertos [11]. Finalmente, las aplicaciones E-Learning han tenido un crecimiento en la industria del software y la usabilidad debe analizarse correctamente para tener productos exitosos donde se demuestre como resultados aplicaciones E-Learning educativas, [12]. agradables e intuitivas para el alumno y, al concluir su investigación, afirman que las aplicaciones E-Learning se benefician a partir del conjunto de heurísticas, porque proporcionan retroalimentación sobre cuestiones de E-Learning infantil a los diseñadores [13].

Sistema de aprendizaje B-Learning

se conceptualiza de diversas maneras principalmente, porque sus usos son muy diferentes, cada uno con su forma y su utilización

Desde sus inicios y crecimiento como plataforma didáctica, los entornos de aprendizaje B-Learning , contienen una dualidad tecnológica y presencialidad. Pedagógica se refiere a que estos sistemas no son netamente de comunicación tecnológica, por lo cual esta es difundida respecto a patrones y modelos pedagógicamente establecidos. Por otro lado, la tecnología se refiere a la fase de enseñanza y aprendizaje que se fundamenta en plataformas de sistemas, que generalmente se basan en diseños en plataformas web, por lo que estos sistemas se conocen como plataformas de formación virtual. Podemos comparar las perspectivas de sus usuarios

finales sobre su uso, ya que utilizan el entorno de aprendizaje B-Learning como una plataforma de opciones y herramientas para el aprendizaje, independientemente de su madurez y formación. No obstante, es posible comparar una evaluación de la organización, en la que se establecen los objetivos y se realiza seguimiento con la formación basada en los sistemas, diferenciando de la perspectiva empresarial y académica.

El origen del término, B-Learning se interpreta como aprendizaje hibrido, por lo que su definición más amplia se podría definir como una tarea educativa que utiliza los medios tecnológicos para desarrollar su proceso formativo como también de la intervención del tutor en aula. Existen otras definiciones que refieren a los entornos de aprendizaje B-Learning como cualquier fase involucrado con tecnologías y educación , se puede citar la definición de la American Society of Trainning and Development, que lo precisa mediante el concepto que engloba una sociedad de servicios y tratamientos , tales como aprendizajes basados en las páginas de internet y en computadoras , colaboración digital y aulas virtuales, del cual incluye los contenidos de audio, videos, video streaming , podcast, transmisiones satelitales ,etc y la participación del profesor en aula [14]

Tipos de plataforma B-Learning

Learning Managment System (LMS): Los instrumentos más empleados en los entornos B-Learning tenemos a los Sistemas de Administración de Aprendizaje o LMS, es llamado también plataforma de aprendizaje, este es un sistema originado en un servidor que contiene secciones para los desarrollos gestores y de supervisión para un entorno de enseñanza, facilitando el dominio de las asignaciones. Los modelos gestores autorizan, por ejemplo: matricular estudiantes, administrar asignaturas, inspeccionar docentes, horarios y asignaturas a los estudiantes, contener informe de calificaciones y asistencias. Además simplifican el aprendizaje colaborativo y distribuido desde los contenidos y actividades elaborados con anticipación, de formar síncrona y asíncrona, Haciendo uso las aplicaciones como los foros, videoconferencias, correo, chat,etc.

El usuario manipula con la plataforma mediante una interfaz de página web que le estipula seguir una secuencia de instrucciones de botones y comandos para realizar lecciones de curso, asignaciones estipuladas, comunicarse con sus profesores y demás estudiantes, asi como dar rastreo a sus asistencias y calificaciones. Las funciones y la complejidad de cada plataforma varían según el sistema, pero normalmente todas tienen instrucciones intuitivas. Entre los sistemas comerciales más convencionales tenemos Blackboard y WebCT, otras por tener software libre son Moodle y Claroline

Learning Content Management Systems (LCMS): Las plataformas de administración de recursos de aprendizaje o LCMS,se iniciaron en el CMS(Content Management System) cuya finalidad es facilitar la invención y ser los gestores de recursos via web, y han sido usados en artículos periódisticas,articulos cientificos,informes,fotografias,etc.En gran número de casos los CMS,desvinculan los materiales de su publicación y

también ofrece aportes de labores para la difusión en internet. Los LCMS siguen conceptos básicos de los CMS, que es la distribución de materiales, pero enfocado al rubro académico, administrado solamente en material educativo y y no cualquier información.

Como resultado, un LCMS es una plataforma basada en la web 2.0 que se utiliza para ,inventar,aprobar,publicar,gestion y almacenar contenido académicos y cursos virtuales [15],donde afirma que los manipuladores del sistema son principalmente los constructores instruccionales que usan los recursos para estructurar las asignaturas , los docentes que trabajan con materiales para estructurar su sesión y los estudiantes que acceden a las herramientas para desarrollar sus asignaciones y complementar su conocimiento. Además su trabajo requiere control en cada paso, lo que implica un procedimiento de edición para verificar la cualidad de los recursos, tambien la de facilitar y establecer su presentación. Por consiguiente los sistemas LMS y los LCMS, se pueden llamar plataformas de administración del aprendizaje porque primero administra la parte de gestión de las asignaturas, rastreo de tareas y desenvolvimiento del estudiante, mientras que el segundo administra el progreso de recursos, de accesos y de almacenaje. En la industria los más convencionales son los LMS ya que la dificultad de los LCMS los ha dirigido a desarrollarse más despacio

Usabilidad

La usabilidad que se traduce del inglés Usability es una característica cualitativa, que se conceptualiza como la simplicidad de uso, ya sea en un entorno web, una plataforma virtual o varios sistemas que interactúa con el usuario, también se alude a aplicaciones informáticas o dispositivo, así como aplicarse a cualquier sistema desarrollado con un fin particular. La calidad del dominio del usuario cuando maneja un sistema es otra definición. Esto se evalúa a través de la conexión entre los instrumentos (definidas en sitios web como un grupo integrado de navegación, funciones y contenidos) y los usuarios para estipular la eficiencia en la interacción de los diferentes elementos que se muestran en las pantallas y la eficacia en el logro de las tareas que se realizan en ellas. La usabilidad universal, es la cualidad de un sistema al ser usado por: 1. El tipo definido de usuario. 2.La actividad para el cual el sistema se ha elaborado. 3.El escenario en que se da la interacción. Es relevante distinguir entre la ingeniería de usabilidad y el análisis de la usabilidad. La evaluación de la usabilidad consiste en medir lo fácil que es usar un software o programa. Por otro lado, la ingeniería de usabilidad es un progreso en diseño e investigación que asegura que un producto final tenga una usabilidad apropiada. La usabilidad pertenece a la categoría de requerimientos no funcionales porque no se puede medir directamente, sino que es necesario hacerlo por medio de medidas indirectas o cualidades, como lo son el número de problemas reportados o la facilidad para manejar el sistema. [16]

Otras definiciones de usabilidad [17]. refiere a la disciplina que estudia los prototipos de entornos web para que los usuarios puedan manipular de manera más simple, cómoda e intuitiva posible y además afirma que la

manera de construir un entorno web usable es elaborando el sistema web pensado en el usuario, diseñado por y para el usuario en comparación a otros sistemas centrados en la tecnología. Por otro lado Baeza afirma que las páginas no son utilizables porque tienen conflictos de usabilidad y refiere a la disciplina como un término que encierra un conjunto de medidas y métodos que busca en un sistema sea simple de aprender y usar, al referirse a sistema se habla de distintos dispositivos que deben ser manipulado por el usuario, en esta clasificación están los entornos web, aplicaciones de softweare, hardware,etc.

La usabilidad, que Nielsen, conocido por ser pionero de la misma, define como una cualidad que mide cuán fácil es utilizar las interfaces web. Entendiendo que un sitio web es usable cuando posibilita que los usuarios lo operen de una manera más segura, intuitiva y cómoda. Características de la Usabilidad: Tiene cinco atributos bien definidos. [18],Ver figura 1

ISO /IEC 9241

La usabilidad es la eficiencia y satisfacción con la que un producto ofrece a los usuarios objetivos realizar metas específicas en una condición en particular. Se refiere al concepto de calidad cuando los usuarios realizan tareas específicas en escenarios. (Ver Figura 2).

La Educación Virtual en el Perú

La educación virtual, abierta o remota refleja el cambio a la educación tradicional, ya que utiliza medios y servicios tecnológicos todos ellos interactúan en tiempo real ;circunstancias que permite la interacción de los tres pilares fundamentales como son los docentes, estudiantes y la plataforma virtual; del cual ha llevado a la respectiva actualización de la técnica y evaluación hacia el universitario, conservado el principio que exige el desarrollo de enseñanza y aprendizaje, dando un objetivo notorio de la relación de la pedagogía con la tecnología. Esta nueva modalidad tiene las características, como reconocer las habilidades para un aprendizaje autónomo y gestión de la información es decir, la comunicación experimentará un forma más óptima para diseminar el conocimiento, rescatando las necesidades de aprendizaje a través de las ideas, valores, habilidades y destrezas que debe ser propio de todo estudiante universitario desde la perspectiva social involucrándose en el concepto de la educación virtual. En otro contexto a comparación de las aulas virtuales que son el complemento de las clases presenciales en donde los estudiantes haces uso de sistemas que permiten familiarizarse con la tecnología proporcionando material multimedia y didáctico a través de la red. De tal manera que la esencia de la enseñanza presencial debe ser como la virtual, que garantice una educación de calidad brindada por las universidades que hacen uso de las TIC´s como necesidad educativa y reafirmar ser un beneficio del aprendizaje. Para lograrlo debe proporcionar entornos virtuales flexibles que permita incluir a todos los estudiantes representado un reto para el sistema educativo [19].

Por tanto los colegios asumen los retos tecnológico en la formación académica mediante la modalidad virtual, y los colegios particulares tendrán la ocasión de mejorar sus infraestructuras tecnológicas para realizar su servicio de clases virtuales y que los profesores tendrán que mejorar sus habilidades digitales para desarrollar sus clases y proporcionar competencias de autonomía académica de los colegiales [20].

Materiales y métodos

Poblacion y muestra

Registro de 585 estudiantes de educación secundaria del colegio particular Lord Kelvin matriculados en el 2026, quien está comprendido por las años primer y segundo con las secciones A y B , y los años de tercero, cuarto y quinto con las secciones A,B y C

Tabla 1. Estudiantes de secundaria colegio privado Lord Kelvin

Nivel / año	**Población**	**%**
Primer año A	45	10 %
Primer año B	45	10 %
Segundo año A	45	10 %
Segundo año B	45	10 %
Tercer año A	45	10 %
Tercer año B	45	10 %
Tercer año C	45	10 %
Cuarto año A	45	10 %
Cuarto año B	45	10 %
Cuarto año C	45	10 %
Quinto año A	45	10 %
Quinto año B	45	10 %
Quinto año C	45	10 %
Total	**585**	**100 %**

Tabla 2. Número de estudiantes de la facultad de Ingeniería a evaluar

Nivel /año	**Muestra**
Primer año A	4

Nivel /año	Muestra
Primer año B	4
Segundo año A	4
Segundo año B	4
Tercer año A	4
Tercer año B	4
Tercer año C	4
Cuarto año A	4
Cuarto año B	4
Cuarto año C	4
Quinto año A	4
Quinto año B	4
Quinto año C	4
Total	**52**

Instrumentación

En este estudio, se emplearán como instrumentos escalas de Likert y cuestionarios para los alumnos de secundaria, así como un cuestionario de entrevista para los expertos.



Figura 1. Secuencia de toma de datos

Resultados y discusión

El grado de un programa para ser manipulado por los estudiantes para conseguir sus objetivos con satisfacción, eficiencia y efectividad en un definido escenario (ISO 9441-11). Por consiguiente, obtengamos productos muy

intuitivos que satisfagan las necesidades de los usuarios. La usabilidad se constituye por dos atributos

Atributo cuantificable de forma objetiva

La eficacia es la inversa del número de errores que comete un usuario mientras realiza una tarea

La eficiencia se puede representar como la inversa del tiempo que el usuario dedica a la secuencia de tareas

Atributos cuantificables de forma subjetiva

La pregunta del usuario (usabilidad percibida) permite evaluar la satisfacción del usuario. En consecuencia, un diseño en sí mismo no es práctico para todos los usuarios que lo manejan en situaciones particulares. Sin embargo, es innegable que un sistema con una interfaz fácil de usar mejora su posición frente a la competencia ya que si un usuario se siente cómodo o tiene problemas al interactuar con el sistema es probable que busque otra plataforma más fácil de usar que cumpla con sus perspectivas (de la frase "En la plataforma web la competición está a un clic de diferencia")

La satisfacción de los manipuladores del sistema se relaciona con la capacidad de una plataforma web para cumplir con sus objetivos. Los siguientes factores pueden influenciar en la satisfacción de los manipuladores del sistema como:

Cualidad y cantidad de las asignaturas

Cualidad de prestación y concurrencia del administrador

Cualidad de construcción del servicio

Un proyecto (diseño) satisfactorio es aquel que es intuitivo, claro, amigable y fácil de usar para el usuario

El proceso de la usabilidad las fases típicas en la construcción de un sistema pensado en el usuario, existen técnicas que permiten agregar principios de usabilidad en el sistema

En la exploración de requerimientos debemos determinar al usuario objetivo sus necesidades y fijaremos metas de usabilidad que deben ejecutarse. Las características del usuario como nivel de estudios, sexo, edad, etc. Cómo este usuario realiza sus asignaciones y desea encontrar en la plataforma virtual, para esto se recurre a repositorios de información de estudios ejecutados o elaborar nuestros propios encuestas y estudios. Los perfiles de usuario elaborado recogen características de los usuarios a esos perfiles se les asigna un nombre y describimos con precisión como también determinamos los escenarios el cual es la descripción de un usuario en

la plataforma virtual con objetivos concretos. Para los requerimientos de los usuarios se pueden usar además de las encuestas, las entrevistas como las sesiones de grupos de usuarios, en la etapa de diseño conceptual se analiza las tareas como: Los procedimientos que el beneficiario realiza para hacer una tarea, un conglomerado de tareas que debe realizar un manipulador del sistema para alcanzar el objetivo, Los canales de comunicación y control para hacer un proceso y los fallos que puedan darse

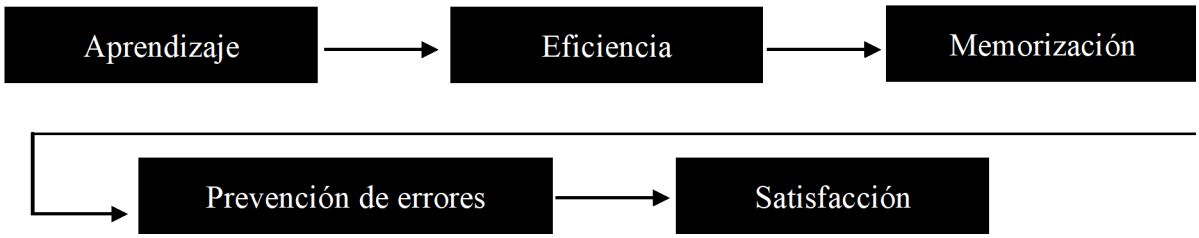
Otro punto consiste en establecer la infraestructura de la información ya que se extrae del análisis de requisitos, aunque puede haber dudas para ello se recurre a la forma de ordenación de tarjeras o card sorting que autoriza examinar a los usuarios para formar categorías. Esta técnica nos brinda un comienzo para rotular y estructurar nuestra plataforma virtual, aunque es preciso que el análisis del mismas lo realice un experto

Creación de sitios Usables una de las primeras recomendaciones es simplificar una revisión rápida de los materiales corroborando que los manipuladores del sistema comprenden y ven la mayor parte de la plataforma virtual , es frecuente que los usuarios “echen un vistazo” para hacer la idea de los materiales sin incurrir de una lectura íntegra por ello es fundamental que la plataforma virtual este bien organizado como crear jerarquías esperando las páginas definidas y minimizar el ruido que es información irrelevante que distorsiona de la información de interés. Un elemento importante son los hipervínculos o enlaces que proporciona un alto grado de información, si la plataforma lo requiere incluirá buscadores, mapas de sitio o menús.

Etapas en el proceso de usabilidad es considerada desde el comienzo del desarrollo hasta la última acción antes de hacer una plataforma virtual disponible al usuario. Es importante tener una idea de las cualidades de los usuarios de acuerdo a su interés y necesidad ya que se ahorra tiempo y dinero. De acuerdo a Nilsen (ver figura 3)

Método de usabilidad propuesto

A continuación, se representa mediante diagrama de bloques los componentes que se tendrán en cuenta para evaluar la usabilidad (ver figura 4)



Técnica de minería de datos, por lo tanto, resaltaremos el árbol de decisión que se empleará en este estudio. Este es un esquema muy parecido a un diagrama de flujo y sus nodos internos representan una cualidad de prueba; cada rama indica un resultado y cada hoja es una etiqueta de clase, la cual representa el fallo tomado después del análisis de los atributos. Un camino que vaya desde la raíz hasta la hoja constituye una regla de orden. El rótulo en esta investigación representa la evaluación de la usabilidad realizada por el experto; los nodos internos representan las diferentes características y componentes que fueron evaluados. Para crear el árbol de decisión, se empleará el algoritmo clásico ID3.

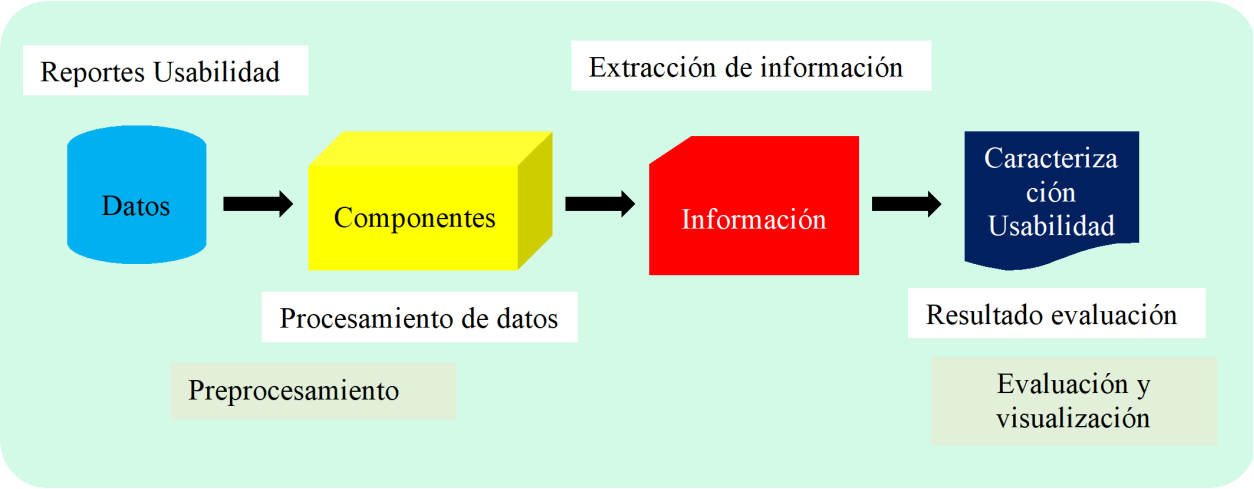
Enfoque de método de usabilidad Propuesto para el enfoque sugerido, se consideran los informes analizados por especialistas en los diferentes elementos que serán procesados a través de un árbol de decisión y posteriormente se determina el nivel de usabilidad.

El enfoque de evaluación heurística sugerido, que se fundamenta en los cinco elementos de usabilidad, asociará seis preguntas con cada uno de ellos. Esto dará como resultado un cuestionario de evaluación cohesionado y coherente compuesto por 30 ítems.

El objetivo de este estudio es identificar los problemas de usabilidad, por lo que abarca no solo las interfaces del sistema, sino también su funcionalidad. Por esta razón, se propone la minería de datos mediante la aplicación de árboles de decisión. Esta propuesta se implementa con el objetivo de identificar los patrones entre componentes y heurísticas, así como entre heurísticas (las preguntas del cuestionario) y entre componentes. Con la referencia de estos patrones, los sistemas B-learning tendrán la capacidad de perfeccionar sus servicios. Es importante señalar que, al optimizar la facilidad de uso en algunos componentes, se optimizan automáticamente otros. Después, se determinarán opciones que posibilitarán que los gestores del sistema adopten las medidas correctivas.

El método que se describe tiene como primer paso la aplicación de los informes de usabilidad del sistema

e-learning, proporcionados por expertos. El segundo paso consiste en estandarizar esos informes para cumplir con las normas del modelo de minería de datos (árbol de decisión). El tercer paso implica extraer datos para su posterior procesamiento mediante la minería de datos. Finalmente, se presentan los resultados en forma de información sobre patrones, donde son visualizados, filtrados, interpretados y organizados. Este nuevo conocimiento es compartido con el equipo de sistemas para realizar las correcciones necesarias. (ver figura 5)



Descripción del conjunto de datos

Tabla 3. Listas de heurísticas de usabilidad

Cód.	Heurísticas de la usabilidad
CA1	¿Los atributos y normas (como los colores, gráficos, enlaces y tipos de letras, tonalidades de fondo, navegación de páginas, títulos de sitios web, políticas de privacidad, navegación del sitio) mantienen una coherencia aproximada con el prototipo estándar?
CM2	¿Existen ilustraciones del menú, las políticas de privacidad y los formatos de navegación en el lugar?
CS3	¿Se proporcionan modelos de datos a través del dato de salida (unidades de medición) y el dato de entrada (por ejemplo, fechas)?
CA4	¿La página principal varía de la secundaria?

Cód.	Heurísticas de la usabilidad
CE5	¿La página brinda soporte al usuario que maneja el sistema, mostrándole la posición actual en toda la guía de la tarea?
CA6	¿Existe en la página un mapa que brinde una representación global del contenido de la plataforma?
CE7	¿La página acepta que el usuario obtenga los datos únicamente una vez?
CE8	¿Los sitios web al mostrar su contenido lo hacen de manera rápida?
CA9	¿Los espacios y mensajes comerciales se distinguen del área de interacción de las páginas?
CE10	¿El sitio de inicio posee una excelente visibilidad para ser encontrado por los buscadores de internet?
CE11	¿Cada página muestra un formato reducido?
CE12	¿Muchas páginas utilizan poco clic y scrolling?
CS13	¿Los iconos son diferentes en términos conceptuales y visuales, conservan una armonía?
CM14	¿Los rótulos relevantes, la correcta utilización de bordes, los colores de fondos y espacios en blanco facilitan a los usuarios la localización de un conjunto de items?
CM15	¿El sitio cuenta con una dirección URL fácil de recordar?
CM16	¿Los títulos y subtítulos de las fuentes son descriptivos, simples, breves y fáciles de recordar?
CA17	¿El sitio ofrece la posibilidad de repetir acciones y cancelar/deshacer?
CM18	¿Cualquier usuario tiene familiaridad con los conceptos, expresiones y palabras?
CR19	¿La página tiene vínculos rotos o páginas sin conexión?
CR20	¿La información que alberga la página es veraz o reciente?
CR21	¿En el sitio se diferencian los campos ”opcionales” y ”necesarios”?
CR22	¿La página no presenta fallos ortográficos y tipográficos?
CR23	¿La página impide que el usuario incurra en fallos?
CR24	¿En la página se presentan las advertencias de error en un texto simple?
CS25	¿En la página, la casilla de texto tiene el tamaño adecuado para reflejar la envergadura de las preguntas más sencillas?
CS26	¿La página resulta clara para el manipulador del sistema al verla?
CS27	¿La página permite que el proceso de interacción del beneficiario sea más sencillo que si el servicio no existiera?

Cód.	Heurísticas de la usabilidad
CS28	¿El prototipo de la página principal incentiva al usuario a explorar más páginas?
CA29	¿Es fácil de explorar la página para usuarios con poca experiencia en la red?
CM30	¿Es la página que permite al usuario evitar trasladar los datos de un sitio a otro?

El conjunto de datos está formado por informes que contienen las heurísticas de la tabla 6, las cuales se presentan en forma de preguntas siguiendo esta escala: SI (cumple), P (cumple parcialmente) y NO (no cumple). La usabilidad de los cinco componentes fue evaluada mediante seis heurísticas (ver Tabla 7). La usabilidad de los entornos LMS será evaluada teniendo en cuenta los resultados de los componentes analizados. La conformidad con los estándares, la retroalimentación del usuario y la visibilidad del estado del sistema son algunas de las propiedades de los elementos de aprendizaje. También se incluyen otras cualidades que generan satisfacción, tales como un diseño atractivo y una navegación sencilla.

Tabla 4. Heurística por componente

Componente	Heurística
Aprendizaje	CA1, CA4, CA6, CA9, CA17, CA29
Eficiencia	CE5, CE7, CE8, CE10, CE11, CE12
Errores	CR19, CR20, CR21, CR22, CR23, CR24
Memorización	CM2, CM14, CM15, CM16, CM18, CM30
Satisfacción	CS3, CS13, CS25, CS26, CS27, CS28

Después de determinar los componentes que definen la caracterización de la usabilidad del método heurístico, se puede observar que comprende cinco elementos que ayudarán a verificar si un sistema de aprendizaje electrónico es fácil de usar.

Elección de los elementos a través de la valoración de especialistas en el uso del método V de Aiken.

Cómo los elementos de la evaluación representan una muestra representativa del constructo en cuestión

La cuantificación del consenso entre los cinco jueces (expertos) previstos para establecer el grado utilizando el método de evaluación heurística.



Aplicar V de Aiken a los componentes para determinar su usabilidad Aplicar V de Aiken a los componentes para determinar su usabilidad.

Evaluación de 5 componentes en 6 dimensiones.

Respuesta de los magistrados o especialistas, en cinco niveles: TD (total desacuerdo), D (desacuerdo), N (neutral), A (acuerdo), y TA (totalmente acuerdo).

Representatividad la caracterización de usabilidad de plataformas LMS

Representatividad en la elección de componentes (Ver anexo)

Resultados al aplicar la V de Aiken a los componentes

A continuación, se presentan los resultados al aplicar el método de Aiken para la selección de componentes y establecer sus grados de acuerdo a los especialistas.

Tabla 5. Análisis del método V de Aiken mediante expertos para la elección de indicadores. Fuente elaboración propia

Tabla 5: Resultado final al aplicar el método V de Aiken a los componentes

Indicadores	Caracterización de Usabilidad A_k por componente	Elección de Componentes A_k por componente
ID 1	1.00	1.00
ID 2	0.92	0.92

Tabla 5: Resultado final al aplicar el método V de Aiken a los componentes		
ID 3	1.00	1.00
ID 4	0.92	1.00
ID 5	0.92	1.00
A_k Total	0.96	0.98

Como se muestra en el gráfico, los puntos de corte del método de Aiken (A_K), para las dos representaciones y la evaluación de expertos que les sigue, son admisibles, lo cual establece que nos encontramos dentro de la métrica permitida. Por ende, concede validez a nuestros elementos para que puedan aplicarse y garantizar el nivel de usabilidad en las plataformas LMS con el método heurístico propuesto.

$0.6 <= A_K <= 1.0$, el intervalo de resultado obtenido: $A_K = 0.96$ y $A_K = 0.98$

Conclusiones

Se logró determinar la caracterización de aprendizaje teniendo en cuenta los parámetros del número de estudiantes que usan la plataforma por primera vez por el cociente del número de estudiantes que usan la plataforma por dos o más veces, obteniendo un resultado porcentual del 100 %, el cual muestra una caracterización de aprendizaje de sobresaliente

Se logró determinar la caracterización de eficiencia teniendo en cuenta los parámetros del número de intentos satisfactorios en el uso del sistema por el cociente del número de intentos fallidos en el uso del sistema, obteniendo un resultado porcentual del 100 %, el cual muestra una caracterización de eficiencia de sobresaliente

Se logró determinar la caracterización de prevención de errores teniendo en cuenta los parámetros del número de errores en la interacción con el sistema por el cociente del número de estudiantes que usan el sistema, obteniendo un resultado porcentual del 100 %, el cual muestra una caracterización de prevención de errores de sobresaliente

Se logró determinar la caracterización de memorización teniendo en cuenta los parámetros de cumplimento según indicaciones, formatos y mensajes se encuentran en el mismo lugar en las diferentes páginas, así como el URL es fácil de recordar, obteniendo un resultado de cumplimiento de 1, el cual muestra una caracterización de memorización de si cumple

Se logró determinar la caracterización de satisfacción teniendo en cuenta los parámetros de cumplimento según indicaciones como la página inicial de la plataforma invita a seguir navegando como las dimensiones de las

cajas de texto son suficientes para ingreso de preguntas y los formatos están claramente mostrados como fechas, unidades de medida, obteniendo un resultado de cumplimiento de 1, el cual muestra una la caracterización de satisfacción de si cumple

Agradecimientos

A la universidad Nacional de Trujillo por ser mi alma mater y a todo el personal docente y administrativo que labora en la Escuela de Ingeniería Informática

Contribución de Autoría

Wilmer Aufredy Apaza Chávez: Investigación, Metodología, Escritura – revisión y edición.

Referencias

[1] Huanca-Arohuanca (2020)., J. W., Supo-Condori, F., Sucari Leon, R., & Supo Quispe, L. A. El problema social de la educación virtual universitaria en tiempos de pandemia, Perú. Innovaciones Educativas, 119 https://doi.org/10.22458/ie.v22iespecial.3218.

[2] Ausubel, D. (1983). Teoría del aprendizaje significativo. Innovaciones Educativas, 117 https://doi.org/10.22458/ie.v22iespecial.3218.

[3] Figallo, F., Gonzales, M. T., & Diestra, V. (2020). Perú:Educación superior en el contexto de la pandemia por COVID-19. Revista de Educación Superior en América Latina, 22-23.

[4] Díaz, B. S. (2009). Introducción a las Plataformas virtuales en la enseñanaza. Revista digital para profesionales de la enseñanza, 3.

[5] Marino, J. M. (2015). E-Learning y comunicación oral y escrita,una perspectiva sobre el diseño,la implementanción y el impacto académico en el contexto universitario. Enseñanza & Teaching, 132 http://dx.doi.org/10.14201/et2015332123150.

[6] Baeza, Y. R. (10 de 02 de 2021). Ubicuidad y Usabilidad en la Web. Obtenido de Ubicuidad y Usabilidad en la Web: http://www.dcc.uchile.cl/%7Erbaeza/inf/usabilidad.html.

[7] Aviram, A., & Eshet-Alkali. (2006). Towards a theory of digital literacy: Three scenarios for the next steps. European Journal of Open, Distance and E-Learning. 53-54.

[8] Toribio, G. G., Saldaña, Y. P., Mora, J. J., Hernández, M. J., Bautista, H. N., Ordoñez, C. A., & Alegría, J. A. (2019). Medición de la usabilidad del diseño de interfaz de usuario con el método de evaluación heurística: dos casos de estudio. Revista Colombiana de Computación, 24 http://dx.doi.org/10.29375/25392115.3605.

[9] Preece, J., Rogers, Y., & Sharp, H. (2005). Design de interação: além da interação homem-computador.

[10] Jiménez, C., Rusu, C., Roncagliolo, S., Inostroza, R., & Rusu, V. (2012). Evaluating a Methodology to Establish Usability Heuristics. Chilean Computer Science Society, 58 -http://dx.doi.org/10.1109/SCCC.2012.14.

[11] Nielsen, J. (8 de 02 de 2021). How to conduct a Heuristic Evaluation. Obtenido de How to conduct a Heuristic Evaluation: www.nngroup.com/articles/How-to-conduct-a-Heuristic-Evaluation.

[12] Cocunubo-Suárez, J. I., Parra-Valencia, J. A., & Otálora-Luna, J. E. (2018). Propuesta para la evaluación de Entornos Virtuales de Enseñanza Aprendizaje con base en estándares de Usabilidad. TecnoLógicas, 138 https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6289039.

[13] Asmaa, A., & Asma, A.-O. (2009). Usability Heuristics Evaluation for Child E-learning. Computer Uses in Education, 429 -https://doi.org/10.1145/1806338.1806417.

[14] García, P. F. (2005). Estado actual de los sistemas e-learning. Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información, 3.

[15] RengaraJan, R. (2001). LCMS and LMS: Taking advantage of tight integration. Click 2.

[16] Sánchez, W. (2011). La usabilidad en Ingeniería de Software: definición y características. Reporte de Investigación, 8.

[17] Hassan, M. Y. (10 de 02 de 2021). Introducción a la Usabilidad. Obtenido de Introducción a la Usabilidad: http://www.nosolousabilidad.com/articulos/introduccion_.

[18] Shneiderman and B. (10 de 02 de 1998), "Designing the user interface," Obtenido de "Designing the user interface": https://users.dcc.uchile.cl/~rbaeza/inf/usabilidad.html#nielsenUE.

[19] Quezada, C. M., Castro, A. M., Gallo, A. C., Oliva, N. J., & Quezada, C. G. (2020). Educación Virtual Como Oportunidad Para La Alfabetización Ambiental En Estudiantes Universitarios Peruanos. 44-49 .

[20] Vértiz, O. j., Cucho, F. R., Vértiz-Osores, R. V., & Angulo, R. A. (2020). Virtual university education in the context of the health emergency due to COVID-19: Challenges in the evaluation processes. International Journal of Early Childhood Special Education (INT-JECSE), 466-467 doi.10.9756/INT-JECSE/V12I1.201027.



LaSalle
Universidad - PERÚ