Revista de Investigación Multidisciplinaria

CTSCAFE PARA CIUDADANOS.....

http://www.ctscafe.pe

ISSN 2521-8093



Volumen X- N°30 NOVIEMBRE 2026

http;//www.ctscafe.pe

Lima - Perú

REVISTA DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA

CTS CAFE Para ciudadanos…

http://www.ctscafe.pe

Volumen X- N° 30 Noviembre 2026

ISSN 2521-8093

Consejo Editorial

Director

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

Editor, diseño y traducción

Lic. Carlos Alberto Vega Vidal

Diagramador de texto

Lic. Carlos Alberto Vega Vidal

Comité Científico

Dr. Elena Rafaela Benavides Rivera
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú

Dra. Ysabel Zevallos Parave
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú

Dra. María Elena Salazar Salvatierra
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú

Dr. Wilfredo Edgar More Seminario
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Peru
Instituto de Cerámica y Vidrio-CSIC. Madrid-España

Dra. Zoraida Judith Huamán Gutiérrez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú

Mag. Miguel Angel Tarazona Giraldo
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú

Dr. Oscar Rafael Tinoco Gómez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú
Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima-Perú

Dr. José Alfredo Herrera Quispe
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú

Mg. Robert Freddy Ore Gálvez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú

Dr. Manuel Alberto Hidalgo Tupia
Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima-Perú
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú

Dra. Rosa Karol Moore Torres
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú

Mag. Nicolas Papanicolau Denegri
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú

Dr. Oscar Eugenio Pujay Cristobal
Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
Cerro de Pasco-Perú
Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Huánuco-Perú

Dr. Fidel Tadeo Soria Cuellar
Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle.
Lima-Perú

Dr. Pieter Dennis van Dalen Luna
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú

ÍNDICE

Pág.

Introducci*ón……..……..……..…….....…...*08

CIENCIAS DE LA SALUD

EsSalud: del síntoma a la receta Parte I. Diagnóstico de la problemática de EsSalud

EsSalud: From Symptom to Prescription. Part I: Diagnosing the Problems at EsSalud

EsSalud : du symptôme à l'ordonnance. Partie I. Diagnostic de la problématique d'EsSalud.....14

Martha Carolina Linares Barrantes

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

CIENCIAS BÁSICAS

Factores que influyen en el incremento de la acidez del aceite de soya al utilizar arcillas acido-activadas en el proceso de producción en Chosica - Lurigancho

Factors influencing the increase in acidity of soybean oil when using acid-activated clays in the production process in Chosica - Lurigancho

Facteurs influant sur l'augmentation de l'acidité de l'huile de soja lors de l'utilisation d'argiles activées par acide dans le processus de production à Chosica - Lurigancho.....36

Jhon Perez Ayala

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Willy Hugo Calsina Miramira

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Desarrollo de materiales termoeléctricos basados en sulfuros metálicos como energía de recuperación de calor residual en la industria automotriz

Development of thermoelectric materials based on metal sulfides for waste heat recovery in the automotive industry

Développement de matériaux thermoélectriques à base de sulfures métalliques pour la récupération de chaleur résiduelle dans l'industrie automobile).....…….....…….....49

Lenin Ailton Saavedra Gonazales

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Selma Baquerizo Acosta

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Oscar Fabian Zarate Ingaroca
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

INGENIERÍAS

Análisis termodinámico de la disipación de calor y eficiencia exergética en sistemas de refrigeración de centros de datos

Thermodynamic analysis of heat dissipation and exergy efficiency in data center cooling systems

Analyse thermodynamique de la dissipation thermique et de l'efficacité exergétique dans les systèmes de refroidissement des centres de données.....75

Sebastián Andre Angulo Saman
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Diego Brayan Huarcusi Candia
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Jhorel Jorge Lopez Conislla
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Jaime Elías Barrientos Huamani
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Rediseño de la red de distribución para incrementar la productividad de los procesos logísticos en la agroindustria de la uva de mesa

Redesign of the distribution network to increase the productivity of logistics processes in the table grape agribusiness

Refonte du réseau de distribution pour accroître la productivité des processus logistiques dans l'agro-industrie du raisin de table.....96

Félix Bernardo Ramos Tipian
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Pedro Pablo Rosales López,
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

ECONOMIA Y GESTIÓN

Implementación de modelo de economía circular de residuos agroforestales en empresas agroexportadoras en territorio peruano

Implementation of a circular economy model for agroforestry waste in agro-export companies in Peru

Mise en œuvre d'un modèle d'économie circulaire des résidus agroforestaux au sein d'entreprises agro-exportatrices sur le territoire péruvien.....110

Carmen Luz Rojas Suárez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

EL papel de lo mágico religioso en la narrativa histórica de Heródoto: un estudio del Libro III, Talía, siglo V a.c.

The role of the magical-religious in Herodotus's historical narrative: a study of Book III, Thalia, 5th century BC.

Le rôle du magico-religieux dans le récit historique d'Hérodote : une étude du Livre III, Thalie, Ve siècle av. J.C.….....133

Mercedes Zachenka Espinoza Alcázar
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Renato Xavier Ochoa Alarcón
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Manuel Remigio Paitan Diaz
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Estrategias de gestión de conflictos socioambientales en proyectos mineros de capital chino: el caso Las Bambas, Apurímac (2015-2023)

Strategies for managing socio-environmental conflicts in mining projects with Chinese capital: the case of Las Bambas, Apurímac (2015–2023)

Stratégies de gestion des conflits socio-environnementaux dans les projets miniers à capitaux chinois : le cas de Las Bambas, Apurímac (2015-2023).....144

Vilchez Leyva, Kimberly Antonella
Universidad San Ignacio de Loyola
Helen Estrellita Leguia Mariano
Universidad San Ignacio de Loyola
Enith Yasmin Saldaña Diaz
Universidad San Ignacio de Loyola
Valeria Caso Ceron
Universidad San Ignacio de Loyola

La ética en la archivística a nivel nacional e internacional: documentos normativos

Ethics in Archival Science at the National and International Levels: Normative Documents

L'éthique en archivistique au niveau national et international : documents normatifs…159

Anatolia Elva Vidal Taco
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Introducción

El 2026 es un año que todos debemos recordar, desde las diferentes orillas conceptuales o de fe.

El calendario electoral es lo que ha marcado la agenda de – prácticamente todo el año -; dos "vueltas" para elegir presidente de la república. Que permitió el retorno de la familia Fujimori al centro de la política peruana. La ciudadanía le ha otorgado el voto mayoritario en su cuarto intento.

Continuó el proceso electoral en el segundo semestre. Se han elegido gobiernos regionales, gobiernos locales, provinciales y distritales. Y para seguir con las dos "vueltas" 15 de las 25 regiones en el país, irán a la contienda la primera semana de diciembre.

Pero, quizás para la gran mayoría de peruanos, la visita del Papa peruano, León XIV es lo que perdurará en nuestros recuerdos. Bajo el lema "Bienvenido a casa", se recibió al Sumo Pontífice, el sucesor de san Pedro.

Cabe recordar que en la historia de Perú, se ha recibido a tres: hoy San Juan Pablo II en dos oportunidades (1985 y 1988); el papa Francisco (2018) y la reciente visita de León XIV, el papa peruano.

El detalle a comentar, y por tanto la posibilidad de discrepar. Si el Perú tiene apenas 34 millones de habitantes, y Brasil 210 millones, hubiera sido interesante que los visite. Recordando que Brasil no recibe un papa hace más de 10 años.

La información censal nos indica que, en décadas pasadas, la tendencia a la fe católica disminuyó de manera significativa. De un 90% bajó a 76% (2017) y ahora ronda por los 67%.

No es que los agnósticos y ateos marquen una tendencia, es la tendencia de otros credos.

Y dejaremos que los artículos seleccionados para este número hablen de otros temas. Queda pendiente el rol de Perú en un escenario creciente de la agro exportación en el Perú.

En este número

El área de ciencias de la salud nos presenta el artículo "EsSalud: del síntoma a la receta. Parte I. Diagnóstico de la problemática de EsSalud" escrito por Martha Carolina Linares Barrantes donde describe el sistema de salud peruano, centrándose en EsSalud. La autora realiza una breve descripción de la institución y, con datos actualizados, presenta sus síntomas desde la perspectiva de alguien que conoce la realidad desde dentro. También se plantea propuestas para su mejora y refundación institucional. El objetivo de la investigación es mostrar un diagnóstico actualizado de la problemática de EsSalud y presentar un plan de acción completo y transformador para reestructurar y recuperar el Seguro Social de Salud, en un contexto actual político turbulento donde vuelve a cobrar fuerza la preocupación por el bienestar social, sobre todo por la salud pública en nuestro país.

En el área ciencias básicas el artículo "Factores que influyen en el incremento de la acidez del aceite de soya al utilizar arcillas acido-activadas en el proceso de producción en Chosica - Lurigancho" de John Pérez Ayala y Willy Hugo Calsina Miramira donde definen que el blanqueo es una de las etapas clave en la refinación del aceite de soya, para eliminar impurezas y pigmentos usando arcillas activadas; sin embargo, este proceso puede subir la acidez del aceite y afectar su calidad final. En este estudio revisaron 10.000 registros de planta de una refinería ubicada en Chosica-Lurigancho, Perú, con el fin de ver cómo influyen la temperatura, la concentración de jabón y la calidad del vacío en la acidez del aceite, medida como porcentaje de ácido oleico. El análisis estadístico se hizo con el software Minitab bajo la metodología Six Sigma. Los resultados mostraron que la acidez sube cuando aumenta la concentración de jabón, aunque tiende a estabilizarse a partir de ciertos niveles, y que cambios mínimos en la temperatura ya generan variaciones medibles en la acidez. La calidad del vacío resultó ser el factor más crítico: cuando el vacío es deficiente, la acidez sube bastante en comparación con un vacío óptimo. En resumen, estos hallazgos confirman que la concentración de jabón, la temperatura y sobre todo la calidad del vacío son variables clave para controlar la acidez durante el blanqueo, y que manejarlas con precisión es fundamental para asegurar la calidad del aceite y cumplir con las normas técnicas vigentes para su comercialización.

Lenin Ailton Saavedra Gonazales, Selma Baquerizo Acosta y Oscar Fabian Zarate Ingaroca en el artículo titulado "Desarrollo de materiales termoeléctricos basados en sulfuros metálicos como energía de recuperación de calor residual en la industria automotriz." Nos explican Los motores de combustión interna pierden gran parte de la energía del combustible en forma de calor a través de los gases de escape, que salen a alta temperatura y que pueden tener una buena capacidad de aprovechamiento. Los generadores termoeléctricos (TEGs) pueden recuperar ese calor residual; sin embargo, los dispositivos comerciales de telururo de bismuto tienen limitaciones porque el telurio es escaso y el material se degrada a temperaturas altas. Este artículo revisa el estado del arte de los sulfuros metálicos (como PbS y Sn) como alternativas sostenibles libres de telurio para aplicaciones de media temperatura. El análisis termodinámico muestra que las fases dopadas y nanoestructuradas alcanzan índices de mérito (ZT) competitivos, con

valores experimentales destacados en compuestos de plomo y estaño. A pesar de los desafíos estructurales relacionados con la resistencia de contacto y la fatiga por ciclado térmico, los sulfuros metálicos presentan una elevada viabilidad para la fabricación de sistemas automotrices destinados a la recuperación de calor residual. Un artículo importante para la conservación energética tan necesaria en este contexto tan complejo como el actual.

En nuestra sección ingenierías el artículo "Análisis termodinámico de la disipación de calor y eficiencia exergética en sistemas de refrigeración de centros de datos" los investigadores Sebastián Andre Angulo Saman, Diego Brayan Huarcusi Candia, Jhorel Jorge Lopez Conislla y Jaime Elías Barrientos Huamani analizan y muestran los diferentes sistemas de refrigeración y como los principales sistemas usados en la industria de datos,—el sistema DX in-row (expansión directa), el sistema CW in-row (agua enfriada o chilled water) y el sistema CRAH (Computer Room Air Handler) con chiller central y torre de enfriamiento— presentan la mayor eficiencia exergética, diferenciando los conceptos de COP y exergía como una alternativa a la forma tradicional de medir la eficiencia de un sistema de refrigeración, representada por el refrigerador de Carnot. Este desequilibrio entre el calor sobrante y las crecientes demandas energéticas de los centros de datos ha despertado más interés por optimizar los sistemas de refrigeración, buscando reducir el gasto energético destinado a su funcionamiento en relación con la cantidad de calor disipado. Un artículo muy interesante para entender el gran consumo energético de estos sistemas, y cómo estos centros de datos vienen poco a poco consumiendo los recursos energéticos y naturales en las zonas donde se construyen. ¿El futuro será el espacio exterior?

Los autores Félix Bernardo Ramos Tipian y Pedro Pablo Rosales López nos presentan en su artículo "Rediseño de la red de distribución para incrementar la productividad de los procesos logísticos en la agroindustria de la uva de mesa" evalúan cómo impacta el rediseño de procesos en la productividad de la cadena logística de exportación de uva de mesa. Con un enfoque cuantitativo y un diseño documental-transeccional de proyecto factible, se mapearon las operaciones de la cadena en tres fases: acopio, exportación y trámites administrativos. Se concluye que el rediseño de procesos mejora la productividad global de la cadena al reducir el tiempo consumido en las operaciones de empaque, almacenamiento refrigerado, logística en depósito temporal y certificación fitosanitaria. Investigación importante para la mejora en nuestra agroindustria de cara a las exportaciones.

En economía y gestión, Carmen Luz Rojas Suárez en el artículo "Implementación de modelo de economía circular de residuos agroforestales en empresas agroexportadoras en territorio peruano" propone un modelo de economía circular pensado para aprovechar los residuos agroforestales que generan las empresas agroexportadoras del Perú, sobre todo en el subsector de la palta. Utiliza un enfoque cuantitativo de tipo prospectivo y se apoya en literatura con técnicas de revisión sistemática, análisis sectorial y modelamiento prospectivo para evaluar qué tanto se puede valorizar la biomasa residual con tecnologías como compostaje, biofertilizantes, pirólisis y biorrefinería. El análisis de correlación aplicado a los escenarios modelados mostró una asociación positiva alta entre la implementación de estrategias circulares y los indicadores de desempeño de la cadena de suministro. En conclusión, adoptar poco a poco un modelo de economía circular basado en residuos agroforestales es una alternativa técnicamente viable para fortalecer la sostenibilidad y competitividad del sector agroexportador peruano en la actualidad.

Nuestra sección ciencias sociales y humanidades presenta “EL papel de lo mágico religioso en la narrativa histórica de Heródoto: un estudio del Libro III, Talía, siglo V a.C.” trabajo donde Mercedes Zachenka Espinoza Alcázar, Renato Xavier Ochoa Alarcón y Manuel Remigio Paitan Diaz nos explican la importancia de la obra de Heródoto como fuente principal para entender el mundo persa desde la mirada griega donde muestran cómo la simbología religiosa está presente en su relato histórico. Para ello analizan el tercer libro de las Historias de Heródoto: "Talía", siendo ella la fuente histórica principal de este trabajo, donde explican con detalle cómo Heródoto presenta estos elementos mágico-religiosos en sus relatos, interpretando el significado de la cosmovisión en el contexto narrativo y su influencia en los acontecimientos relevantes dentro de la narrativa histórica. Un trabajo para entender el pensamiento griego y la visión que tenían de sus némesis.

Kimberly Antonella Vílchez Leyva, Helen Estrellita Leguía Mariano, Enith Yasmin Saldaña Diaz y Valeria Caso Ceron en su artículo “Estrategias de gestión de conflictos socioambientales en proyectos mineros de capital chino: el caso Las Bambas, Apurímac (2015-2023)” analizan como durante los años 2015-2023, el proyecto minero Las Bambas, operado por MMG Limited en la provincia de Cotabambas (Apurímac), se consolidó como uno de los casos más representativos de conflictividad socioambiental asociada a la minería de capital chino en el Perú. Los autores analizan mediante un enfoque comparativo-documental, la relación entre las estrategias de gestión de conflictos socioambientales implementadas por MMG Limited y la dinámica de la conflictividad social en la región durante ese período. La evidencia documental utilizada muestra que las estrategias reactivas se asociaron con episodios de mayor intensidad, frecuencia y persistencia de la conflictividad, mientras que las estrategias preventivas y participativas se vincularon con niveles relativamente menores de conflictividad, aunque solo cuando hubo continuidad y seguimiento. La gestión de conflictos en Las Bambas confirma que reducir la conflictividad social no depende solo de que existan espacios de diálogo, sino de su continuidad, seguimiento y cumplimiento efectivo de lo acordado, lo que permite reconstruir la licencia social para operar y fortalecer la legitimidad institucional. El cumplimiento de las promesas genera tranquilidad y menos conflictos.

Para concluir, Anatolia Elva Vidal Taco en su artículo “La ética en la archivística a nivel nacional e internacional: documentos normativos” llama la atención sobre la importancia de la ética profesional en la práctica archivística, a través de la elaboración de distintos códigos deontológicos, para los profesionales del sector. Este estudio tiene como objetivo dar a conocer de forma global los códigos de ética archivística tanto nacionales como internacionales, por la importancia que tienen para el desarrollo archivístico en general y para la formación del archivero, ya que de él dependen todos los procesos archivísticos y es quien custodia el patrimonio documental. Esto se aborda mediante el análisis del código de ética para los profesionales de la archivística; código de ética archivística de la SAA, CIA/ICA y ALA; cuadro comparativo de códigos de ética archivística internacional; y normatividad archivística sobre ética peruana. Importante para entender el uso de nuestros datos y la ética de quienes los cuidan y protegen.

Llegamos al N°30 al final de un año y época de cambios, mostrando los resultados de cientos de investigadores que confiaron en nuestra Revista como plataforma para dar a conocer el resultado de sus investigaciones y como ellas aportan al desarrollo de nuestra comunidad y de la ciudadanía. A través de ellas, podemos ver cómo ha ido cambiando nuestra sociedad y también la óptica de cada uno de los autores con respecto a la sociedad y a los cambios que se reflejan en sus investigaciones científicas durante este periodo de tiempo. Podríamos decir que revisando

cada uno de los números de nuestra Revista de Investigación Científica recorremos una parte de la historia de cada uno de los autores y de la realidad que analizan y estudian, una visión histórica de la academia, del pensar, del hacer, del investigar. Creemos eso.

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

Director

Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

Editor

Ciencias de la Salud

EsSalud: del síntoma a la receta

Parte I. Diagnóstico de la problemática de EsSalud

Dra. Martha Carolina Linares Barrantes
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: klinares.estudio@gmail.com

Recibido: 23 Septiembre 2026 Aceptado:15 Noviembre 2026

Resumen: Este artículo describe el Sistema de Salud Peruano y se centra en EsSalud, se realiza una breve descripción de su funcionamiento, con data actualizada describe los síntomas desde la perspectiva de una persona que conoce la realidad, desde dentro, y se plantean propuestas para su mejora y refundación institucional. El objetivo es mostrar el diagnóstico actualizado de la problemática de EsSalud y un Plan de acción completo y transformador para la reestructuración y recuperación del Seguro Social de Salud, con metas claras, considerando un contexto turbulento de cambios políticos donde resurge la preocupación por el bienestar social, principalmente la salud pública.

Palabras clave: ESSALUD/ Gestión de salud/ Gobernanza de salud/ Dirección de salud/ Atención al asegurado

Abstract: This article describes the Peruvian health system with a focus on EsSalud; it outlines the organization's operations and—drawing on up-to-date data and an insider's perspective on the actual situation—describes the issues at hand while proposing measures for improvement and institutional renewal. The aim is to present an up-to-date diagnosis of the challenges facing EsSalud, alongside a comprehensive, transformative action plan for restructuring and revitalizing the Social Health Insurance system. This plan sets out clear goals, taking into account a turbulent political landscape marked by a resurgence of concern for social welfare—particularly public health.

Keywords: ESSALUD/ Health Management/ Health Governance/ Health Directorate/ Insured Care

Résumé : Cet article décrit le système de santé péruvien, en particulier EsSalud. Il en présente un aperçu, s'appuyant sur des données actualisées pour décrire ses problèmes du point de vue d'un acteur de terrain. Enfin, il propose des solutions pour son amélioration et sa restructuration institutionnelle. L'objectif est de dresser un diagnostic actualisé des défis d'EsSalud et d'élaborer un plan d'action global et transformateur pour la restructuration et le redressement du système d'assurance maladie sociale, assorti d'objectifs clairs, compte tenu du contexte politique instable et du regain d'intérêt pour la protection sociale, notamment la santé publique.

Mots-clés: ESSALUD / Gestion de la santé / Gouvernance de la santé / Direction de la santé / Assurance maladie

1. Introducción

EsSalud, es una institución sobrediagnosticada, percibida como una organización con graves problemas de corrupción, su ineficiente gestión de recursos, ausencia de controles, falta de transparencia y débil rendición de cuentas, impacta en una prestación de servicios de salud oportuna y de calidad. El deficiente funcionamiento de EsSalud es una muestra típica de lo que ocurre cuando la corrupción se suma a la incapacidad.

En EsSalud la gestión de recursos deficiente y las graves fallas en los mecanismos de control genera que no exista stock suficiente de medicamentos, dispositivos médicos y materiales de laboratorio necesarios, mientras existe sobrestock de lo que no se necesita.

Las deficiencias en la programación de las citas médicas, la insuficiencia de profesionales de la salud, aumenta los tiempos de espera entre citas en la atención primaria e incrementa las listas de espera de intervenciones quirúrgicas. Las colas en los servicios de emergencia se producen porque la demanda supera a la capacidad de brindar el servicio, parte de ella está formada por pacientes que podrían ser atendidos en centros de atención primaria, que acuden a las emergencias ante la falta de citas con la idea de que "*es más fácil que te atiendan por emergencia*". En los servicios de Emergencia, muchas veces es el personal de vigilancia, a modo de un cuasi triaje, quien decide si se trata de emergencia o urgencia.

En EsSalud es común encontrar equipos de apoyo al diagnóstico que no funcionan por meses, obligando a los pacientes a utilizar servicios privados externos, así también que el día de que le programaron la intervención quirúrgica, el paciente es notificado por teléfono, que la cirugía fue suspendida por "*falta de material quirúrgico*", o porque "*no llegó el lente intraocular del modelo x*", etc. o, en el peor de los casos, se suspende la intervención en sala, luego de haber sometido al paciente a la preparación previa con sedación.

En adición la institución presenta una brecha de infraestructura y equipamiento al año 2035 valorizada en S/ 31 mil millones (EsSalud, 2019) con una ratio de 3 profesionales de la salud (médico, enfermera y obstetra) por cada 1000 asegurados al año 2025 manteniendo una brecha frente al 4.5 recomendado como indicador mínimo por OMS y una ratio de 13.7 médicos por cada 10,000 asegurados (EsSalud 2026e) promedio que disfraza la desigual distribución geográfica de médicos que se concentran en las redes prestacionales de Lima y principales ciudades del país.

Curarse de alguna dolencia en EsSalud es casi un milagro; sin embargo, lo que más llama la atención es que el personal asistencial principalmente médicos y enfermeras, son reconocidos como profesionales altamente competentes y comprometidos y en general tanto el personal asistencial como el administrativo, se encuentran muy identificados con la institución. Asimismo, EsSalud maneja un presupuesto elevado, cuyo ingreso es bastante mayor al de muchos ministerios, pese a ello, muestra déficits operativos sostenidos desde 2017 (ComexPerú, 2026).

En síntesis, EsSalud no funciona en los niveles adecuados de servicio, Los asegurados con capacidad económica prefieren atenderse en instituciones de salud privadas, 6 de cada 10 asegurados de EsSalud se atienden fuera del sistema cuando enferman (ComexPerú, 2025) y últimamente ha surgido el fenómeno creciente por el cual muchos trabajadores buscan mecanismos que permitan su desafiliación de EsSalud, para poder acceder al Seguro Integral de Salud SIS. Sin embargo, mientras la insatisfacción en la atención sigue en aumento, los aportes obligato-

rios a las empresas, que constituyen los ingresos operativos que financian el funcionamiento de EsSalud, se continúan descontando, y el presupuesto se sigue gastando.

2. El Sistema de Salud en el Perú

En el Sistema de Salud peruano el órgano Rector es el Ministerio de Salud MINSA. Bajo la rectoría del MINSA se articulan múltiples subsistemas que operan con distintos mecanismos de financiamiento, aseguramiento y prestación de servicios, (MINSA, 2016).

La instancia supervisora del sistema de salud, está conformada por la Superintendencia Nacional de Aseguramiento en Salud - SUSALUD, ejerce también ese rol la Superintendencia de Banca y Seguros SBS para los privados.

Las Instituciones Administradoras de Fondos de Aseguramiento en Salud (IAFAS) son entidades públicas, privadas o mixtas que reciban, capten y/o gestionen fondos para la cobertura de atenciones de salud y que ofrezcan cobertura de riesgos de salud. Las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPRESS), son establecimientos públicos, privados o mixtos categorizados y acreditados por la autoridad competente y registrados en la Superintendencia Nacional de Aseguramiento en Salud, autorizados para brindar los servicios de salud correspondientes a su nivel de atención. Todas las IAFAS e IPRESS públicas, privadas y mixtas, son supervisadas por SUSALUD.

El sistema presenta diferentes fuentes de financiamiento: Aportes de empleadores a EsSalud, recursos del Tesoro Público al Seguro Integral de Salud SIS, gasto del bolsillo de los hogares, primas de seguros privados. Ver la figura 1.

2.1. Aseguramiento (Iafas)

La principal IAFAS pública es el SIS (Seguro Integral de Salud), que cubre al 65.8% de la población, es un sistema no contributivo que se financia por impuestos y cubre a todos los residentes en el Perú que no tienen otro seguro de salud. La segunda IAFAS pública es EsSalud, que afilia aproximadamente el 23.5% de la población, es un sistema contributivo que cubre a los trabajadores asalariados y a sus familias, se financia con el aporte obligatorio del 9% de la remuneración mensual a cargo del empleador. Existen además otras cuatro IAFAS públicas que aseguran a los miembros de las FFAA y PNP: el Fondo de Aseguramiento en Salud de la Policía Nacional (Saludpol), de la Marina de Guerra (FOSMAR), del Ejército (FOSPEME) y de la Fuerza Aérea (FOSFAP), que se financian a través de los presupuestos que reciben de los sectores Defensa e Interior (INEI, 2025).

El sistema de salud cuenta, además, con empresas prestadoras de salud (EPS) IAFAS privadas cuya suscripción es voluntaria, aplican primas, copagos, franquicias con topes de financiamiento, se financian con una parte del aporte del empleador a EsSalud, los asegurados mantienen la prestación de mayor complejidad y alto costo en EsSalud. Existen otras modalidades de aseguramiento públicos, privados o mixtos distintas a las señaladas anteriormente, prestan atenciones de menor complejidad y constituyen aproximadamente el 4.1% (INEI, ibid.)

Según la Encuesta Nacional de Hogares, al cuarto trimestre del 2025, el 93,4% de la población nacional contaba con algún seguro de salud público o privado.

Cada IAFAS atiende a poblaciones específicas y opera con reglas propias.

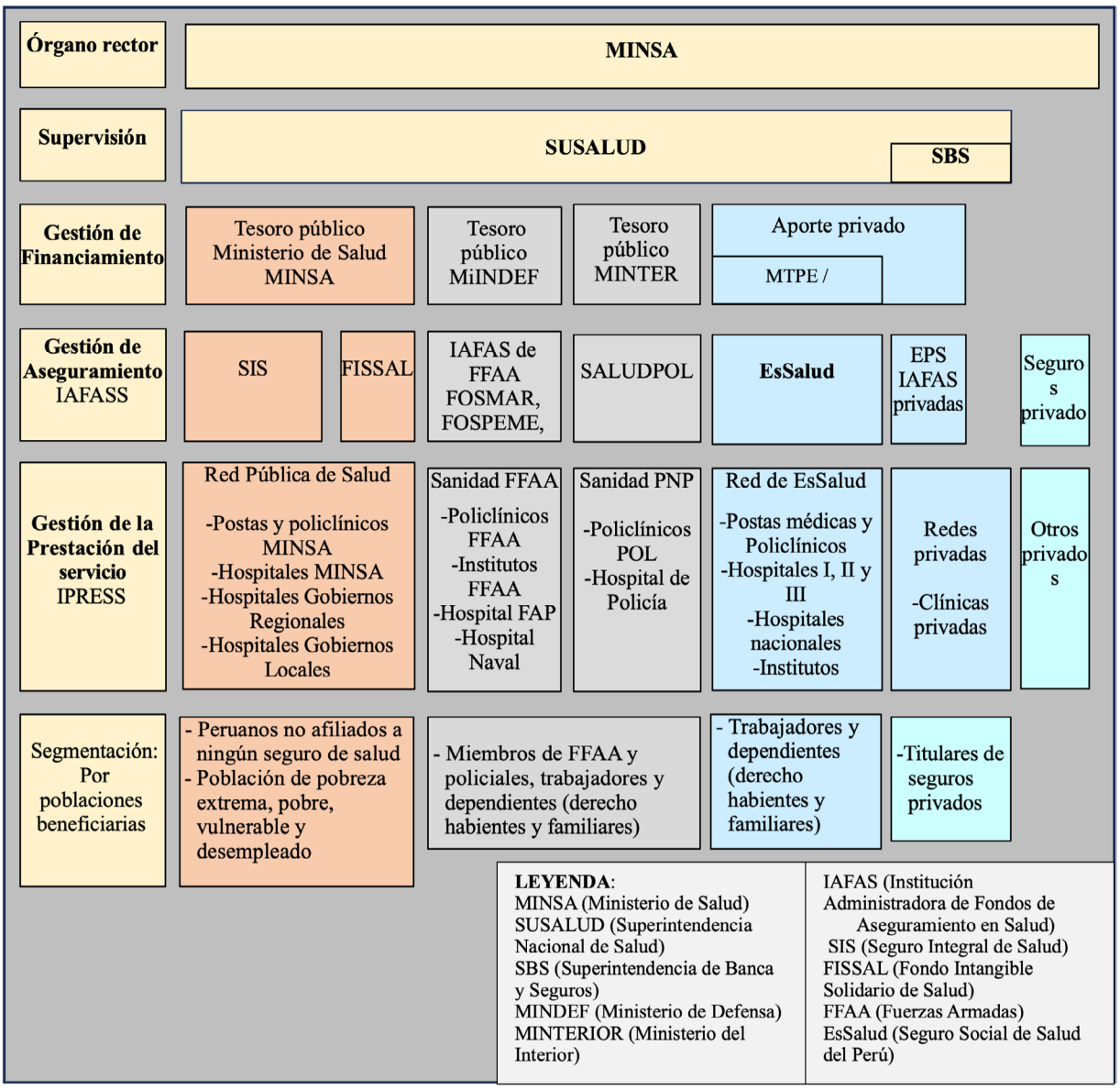
2.2. Prestación de Servicios (Ipress)

Los servicios de salud se brindan en redes asistenciales diferenciadas, a través de IPRESS. No existe complementariedad ni integración entre las redes.

Se tiene la Red de establecimientos del MINSA, la Red de EsSalud, las Clínicas privadas y la Sanidad de las FFAA y PNP.

Las IPRESS están organizadas en tres niveles de atención y categorías, definidas principalmente por el grado de complejidad de sus servicios y su capacidad resolutiva.

Figura N°1: Estructura del sistema de salud peruano



Fuente: Adaptado de Videnza Consultores (2020a, 2020b)

El primer nivel está integrado por centros de atención primaria, enfocados en consulta externa y prevención, sin internamiento (puestos de salud, consultorios). El segundo nivel de atención incluye hospitales y clínicas con especialidades básicas tales como medicina interna, ginecología, pediatría, cirugía general y tienen capacidad de hospitalización y atención a emergencias.

El tercer nivel, lo integran los establecimientos de alta complejidad para atención especializada, cuidados intensivos, especialidades complejas (cardiología, insuficiencia renal, cáncer, etc.).

Como se aprecia, se trata de un sistema mixto, fragmentado y segmentado. Mixto, desde el punto de vista de su financiamiento (los impuestos financian el SIS, los aportes de empleadores a EsSalud y los pagos de bolsillo a seguros privados), fragmentado, desde el punto de vista de la oferta de servicios pues estos son brindados por diferentes redes separadas que funcionan con sus propias reglas, y segmentado por condición laboral o nivel socioeconómico, según el tipo de población al que atiende. La fragmentación produce ineficiencias y es la principal traba para desarrollar políticas integradas y servicios de calidad uniforme.

2.3. Funcionamiento del sistema

Los IAFAS captan o gestionan recursos destinados a la cobertura de riesgos en salud o al financiamiento de prestaciones de salud, estableciendo convenios con las IPRESS para la atención de los asegurados a través de servicios de calidad, oportunos y con tarifas pactadas. Los pobladores acceden a las prestaciones según su tipo de aseguramiento. Las IAFAS públicas brindan las prestaciones de salud mayormente en sus IPRESS propias usando presupuestos que provienen de aportes de los asegurados o de impuestos.

El intercambio prestacional, se dificulta debido a la alta fragmentación del sistema de salud. Cada institución u organismo del sistema opera independientemente, es decir manejan su propio financiamiento, establecimientos de salud y procesos de prestación de servicios de salud propios, sin coordinación ni colaboración entre sí.

Las IPRESS trabajan con contratistas y proveedores distintos; asimismo, reportan a autoridades diferentes Como consecuencia de ello, se dificulta el acceso a la salud, no hay uniformidad en la prestación de los servicios, ni racionalidad en la distribución de infraestructura, las redes asistenciales coexisten, pero no se complementan, produciéndose duplicidad en unas y ausencia de establecimientos de salud en otras partes del territorio nacional. En muchos casos los pobladores deben recorrer grandes distancias para ser atendidos. Esta fragmentación del sistema de salud, impacta negativamente en la calidad del servicio y finalmente en la satisfacción del asegurado.

En el Perú, la función aseguradora y la función prestadora de servicios de salud se encuentran integradas en una misma institución, lo que distorsiona la finalidad de cada función, genera un conflicto de interés estructural impidiendo la eficaz evaluación y control de resultados, ya que quien financia se paga a sí mismo por la prestación de servicios, lo que ha debilitado los incentivos para mejorar la calidad, eficiencia y oportunidad de la atención.

El Decreto Legislativo N° 1158 establece que EsSalud es una Institución Administradora de Fondos de Aseguramiento en Salud (IAFAS) definiendo sus funciones como tal.

La separación de funciones en materia de salud, en el país, está definida y regulada por el Decreto Supremo 010-2016-SA, que aprobó las disposiciones para que las IAFAS Públicas, adecúen sus procesos, diseño organizacional y recursos para hacer efectiva la separación de funciones de aseguramiento y prestacionales, estableciendo plazos para su implementación, los que se han ido ampliando.

En EsSalud, se avanzó en estudios, informes y documentos, elaborados por la Organización Internacional de Trabajo (OIT), el Banco Mundial (BM) entre otros, para facilitar la implementación. A la fecha, EsSalud ha definido los procesos misionales y ha separado contablemente las transacciones de la IAFAS de aquellas correspondientes a sus IPRESS (EsSalud, 2019b).

La importancia de especializar las funciones de aseguramiento y prestacionales radica en que permitirá crear y consolidar eficiencias en la asignación y el uso de los recursos y las inversiones, mejorar la calidad de los servicios de salud (reducción de colas y tiempos de espera, abastecimiento inteligente de medicamentos, entre otros), fomentar la transparencia en el manejo de costos y en general, elevar el nivel de vida del asegurado.

La separación de funciones busca introducir competencia y mejora de la eficiencia, posibilita que el asegurador "compre servicios" pudiendo contratarlos de las IPPRESS propias o privadas evaluando el costo, la calidad y la oportunidad. La exigencia de servicios de calidad a una tarifa razonable obligará a las IPRESS públicas a ser productivas y eficientes, brindando servicios con menores costos y la mayor calidad, medida con indicadores de desempeño establecidos y controles de los niveles de servicio enfocados en la satisfacción de los asegurados, en un mercado competitivo. En EsSalud el aseguramiento no estaría cautivo a la prestación de servicios de salud en las IPRESS propias, se rompería el monopolio interno.

El modelo de separación de funciones se encuentra implementado en algunos países de Sudamérica, con diferentes resultados. Países como Colombia y Chile lograron alcanzar una cobertura casi universal (cercana al 100%) tras separar funciones. Si bien esto permitió que más personas accedieran a prestaciones de salud, la atención no siempre es inmediata. En Uruguay, además de la separación de funciones se integró en una sola red a prestadores públicos y privados bajo reglas comunes, obteniéndose indicadores de salud destacados, sin embargo el gasto en salud es alto y aún registran demoras en los tiempos entre citas especializadas. La transición hacia este nuevo modelo no garantiza resultados por sí sola; su éxito está condicionado a una implementación estratégica y a la capacidad institucional para regular y supervisar el cumplimiento de las metas de salud.

Cada cierto tiempo frente a los problemas del sector salud, surgen planteamientos de unificación estructural de MINSA y EsSalud, incluyendo la sanidad de las FFAA y Policía, para eliminar la fragmentación del sistema (actualmente, el Proyecto de Ley N.º 13909/2026-CR). Esta propuesta es inviable, ya que la fuente de financiamiento de cada institución, MINSA y ESALUD, es completamente distinta; más del 97% de los recursos de EsSalud provienen de la recaudación de aportes de los empleadores (instituciones y empresa privada), y son fondos constitucionalmente intangibles, según el artículo 12 de la Constitución Política del Perú; mientras que el financiamiento del Ministerio de Salud (MINSA) y el Seguro Integral de Salud (SIS) proviene principalmente de recursos del Tesoro Público (casi 99% en el SIS), destinados a cubrir atenciones gratuitas para más de 26 millones de asegurados que no aportan a la seguridad social (MIMSA, 2026). La principal objeción técnica a esta propuesta, es el riesgo de que los fondos de EsSalud terminen subsidiando al resto del sistema, lo que distorsionaría la naturaleza contributiva del modelo, afectando su sostenibilidad y la calidad prestacional para el asegurado. En la práctica, implicaría la disolución del régimen de seguridad social.

Desde el año 2006, con la suscripción del Convenio N° 049 -2006/MINSA entre MINSA y EsSalud se han dado algunos pasos para el intercambio prestacional, pero no se ha afianzado debido principalmente a que no se ha tomado acuerdos clave respecto de los precios y estanda-

rización de procedimientos de carácter asistencial, administrativo, informático y/o tecnológico, ni de los niveles de servicio, compras conjuntas, etc. Los convenios de intercambio prestacional han disminuido y son poco utilizados.

3. Seguro Social de Salud-EsSalud

El Seguro Social de Salud del Perú - EsSalud es un organismo público descentralizado adscrito al sector de Trabajo y Promoción del Empleo, con personería jurídica y autonomía técnica, administrativa, económica, financiera, presupuestal y contable, que administra los fondos intangibles de la seguridad social.

La misión de EsSalud consiste en dar cobertura a los asegurados y sus derechohabientes, a través del otorgamiento de prestaciones de salud (prevención, promoción, recuperación, rehabilitación), económicas y sociales a la población asegurada y sus derechohabientes.

Su autonomía ha sido relativa pues aparte de su dependencia funcional del Ministerio de Trabajo, la ley de presupuesto de 2011 la incluyó bajo la supervisión de FONAFE, que regula su presupuesto. Sin embargo, la Ley de Presupuesto 2026 permite a EsSalud gestionar sus recursos directamente, al excluirla del control de FONAFE durante el periodo fiscal 2026. EsSalud maneja actualmente un Presupuesto Institucional de S/. 19,189,447,194, (EsSalud, 2026a), de los cuales las Redes Asistenciales se llevan el 69.4% que asciende a S/.13,268,450,023, con un Presupuesto de Inversiones de S/. 601,116,145 (3.2% de egresos del PIA).

Tiene a su cargo 402 IPRESS (Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud) de las cuales 393 constituye la oferta propia y 9 IPRESS como oferta extrainstitucional que funciona por medio de convenios.

Su Oferta propia está conformada por 4 Redes Prestacionales y 26 Redes Asistenciales, 2 Institutos (Instituto Nacional Cardiovascular- INCOR e Instituto Nacional de Oftalmología - INO) y 1 Centro Especializado (Centro Nacional de Salud Renal - CNSR) (EsSalud, 2025b).

A enero 2026 EsSalud atiende al 37.3% de la población peruana 12 813,806 asegurados, de ellos son Titulares 8 202,944 (64%) y Derechohabientes 4 387,237 (36%) (EsSalud, 2026b). EsSalud tiene 64081 trabajadores de ellos 55,886 (87.2%) es personal asistencial y 8,195 (12.8%) es personal administrativo. (EsSalud, 2026b, 2025b).

EsSalud atiende mensualmente en promedio 2 063,302 Consultas totales (incluye consulta externa, consultas de atención inmediata, entre otros), 17,049 teleconsultas, 35,429 intervenciones quirúrgicas, 638,051 emergencias, Altas 43017, con un promedio de 6.2 días de estancia (EsSalud, 2026c).

La organización es vertical con una alta centralización y mantiene las funciones de aseguramiento y prestación integradas (no hay separación funcional completa entre IPRESS e IAFAS). Tiene 10 gerencias centrales, y en promedio por cada una de las 30 redes prestacionales/asistenciales 1 gerente de red, entre 3 y 5 gerencias funcionales y de12 a 20 jefaturas.

3.1. El modelo de atención en EsSalud

La atención privilegia la oferta sobre la demanda; es decir, lo que se ofrece no está en función a las necesidades del asegurado sino en función de la capacidad operativa de EsSalud, cuya brecha de infraestructura y personal constituyen fuertes barreras de acceso para los asegurados a los servicios de salud prestados por EsSalud.

Aunque se han realizado intentos por fomentar una cultura centrada en el asegurado, no se han conseguido cambios significativos debido a la burocracia rígida arraigada, inestabilidad institucional, falta de autonomía financiera real y por las falencias de infraestructura y de personal asistencial.

El modelo prestacional de EsSalud tiene un enfoque recuperativo que da mayor importancia a la atención especializada de los EESS de Nivel II (hospitales generales y especializados) y nivel III (Hospitales Nacionales e Institutos Especializados), de mayor complejidad y capacidad de resolución, postergando a los EESS de nivel I, de atención primaria (Centro médico. Policlínico de complejidad creciente y Centro especializado). En el acápite 3.6.2, se analiza la asignación presupuestal por niveles de EESS.

3.2. Infraestructura y brechas

La infraestructura hospitalaria a nivel nacional a diciembre 2025, por niveles de atención (EsSalud, 2025, 2025b), se presenta en la tabla 1.

Tabla N°1: Distribución de infraestructura hospitalaria a nivel nacional

IPRESS – EsSalud 2025 por nivel de atención	Infraestructura hospitalaria	% Infraestructura hospitalaria	Población asegurada	% Población asegurada
Primer Nivel	319	79.3%	7,324,831	58.2%
Segundo Nivel	71	17.7%	5,259,997	41.8%
Tercer Nivel	12	3.0%		
TOTALES	**402**	**100.0%**	12,584,828	100.0%

Fuente: Elaboración propia

Esta distribución incluye la oferta extrainstitucional 07 establecimientos del primer nivel de atención y 02 del segundo nivel de atención.

A mayo 2025, el 58.2% de la población asegurada está adscrita al primer nivel, mientras que el 41.8% al segundo nivel (EsSalud, 2026d), como se aprecia a continuación.

La distribución de IPPRESS de EsSalud a nivel nacional no es homogénea. La cobertura de EsSalud se dificulta por las condiciones de accesibilidad de cada región especialmente la sierra y zonas altoandinas. Los establecimientos de salud se encuentran mayormente en ciudades de la costa, mientras distritos más alejados de la sierra y selva carecen de infraestructura sanitaria de seguridad social o la existente se encuentra en muy mal estado.

Las redes prestacionales de Lima poseen mayor número de IPRESS propias (Sabogal 21, Rebagliati 17 y Almenara 17 IPRESS) que concentran el 46% de la población total asegurada (Rebagliati 2,097,919, Sabogal 1,968,046 y Almenara 1,669,839).

Las Redes Prestacionales, a diferencia de las Asistenciales son estructuras de gestión de mayor complejidad ofrecen atención especializada y supervisan la prestación de servicios que incluyen establecimientos de salud de mayor nivel.

En provincias, las redes asistenciales con el mayor número de IPRESS son La Libertad (37 IPRESS), seguida de Arequipa (28 IPRESS), Lambayeque (24 IPRESS) y Junín (23 IPRESS) mientras que en los últimos lugares figuran las redes de Jaén (4 IPRESS), Moyobamba (3 IPRESS) y Madre de Dios (3 IPRESS). (EsSalud, 2026d).

En concordancia con los "Lineamientos para la elaboración del Plan Multianual de Mantenimiento de la Infraestructura y el Equipamiento en los Establecimientos de Salud" aprobados mediante la Resolución Ministerial N°533- 2016/MINSA, EsSalud aprobó la "Norma de Gestión de Mantenimiento Hospitalario en EsSalud" mediante la Resolución de Gerencia General N°1563-GG- ESSALUD-2019. De acuerdo a ella se utiliza el indicador Estado de Conservación para calificar la condición material y física del edificio o los bienes de los establecimientos de salud (infraestructura hospitalaria) como buena, regular y mala. El estado regular describe infraestructura con deterioro con acabados e instalaciones con desperfectos, pero sin peligro de desplome y que recibe ocasionalmente mantenimiento. El estado malo comprende infraestructura muy deteriorada que requiere reparaciones mayores, complejas y costosas, que compromete la prestación del servicio asistencial.

La Gerencia Central de Proyectos de Inversión, en su boletín estadístico de mayo 2025, señaló que sólo el 39.9% de los establecimientos de salud de la oferta propia de EsSalud se encuentra en estado de conservación “Bueno”, mientras que el 60.1%, se encuentran en estados “Regular” y “Malo”. (EsSalud, 2026d). Este porcentaje se eleva si se toman en consideración criterios de Defensa Nacional e Índice de Seguridad Hospitalaria-ISH con estándares más rigurosos, principalmente en los establecimientos de nivel I. Las redes asistenciales con establecimientos de salud en mejor estado son las de La Libertad y Lambayeque y las redes asistenciales con mayor número de establecimientos en mal estado son la Red Asistencial Piura y Sabogal.

Con información de los Planes Directores de Inversiones 2016-2025, en el marco de la Programación Multianual de Inversiones (PMI) de EsSalud 2017-2029 (EsSalud, 2026d), se calcularon indicadores de brechas o de acceso a servicios en EsSalud. El indicador de brecha de capacidad instalada la califica como adecuada e inadecuada, evalúa no solo el aspecto físico sino el cumplimiento de las Normas Técnicas de Salud vigentes en cuanto a infraestructura y equipamiento en sus servicios críticos. Un hospital puede tener estado de conservación bueno (físicamente), pero ser inadecuado porque no cumple con los estándares sectoriales de equipamiento o espacio. El indicador brecha de acceso a servicios o cobertura evalúa la necesidad de nuevos servicios especializados o establecimientos de salud (CAP, policlínico/centro médico, hospital I, II, III e Institutos especializados).

En el primer nivel de atención se estima que el 76% de establecimientos de salud presentan capacidad instalada inadecuada, y que se requiere cubrir una brecha de 156 establecimientos de salud por implementar. Asimismo, respecto de los establecimientos de salud en el segundo y tercer nivel de atención, se estima que el 88% de hospitales cuentan con capacidad instalada

inadecuada y se identifica una brecha de 26 hospitales por implementar. En el caso de los 2 Institutos especializados Centro Nacional de Salud Renal de la Red Prestacional Almenara e Instituto Nacional Cardiovascular (INCOR) de la Red Prestacional Rebagliati, con un promedio de antigüedad, mayor a 50 años, no cumplen con las normas técnicas actuales lo que determina un indicador de 100% con infraestructura inadecuada aparte del deterioro físico propiamente.

La brecha de infraestructura y equipamiento que existe en la institución se ha calculado en más de S/ 31 mil millones cuya valorización se muestra en el Plan Estratégico de Inversiones de EsSalud al año 2035 (EsSalud, 2019), cifra que incluye 1. la brecha de prestaciones de salud (oferta nueva de IPRESS, infraestructura faltante en IPRESS existentes para cumplir con la categorización según norma, IPRESS que requieren rehabilitación y 2. la brecha de prestaciones sociales (mayor cantidad de Centro de Adulto Mayor - CAM y Centros de Rehabilitación Profesional y Social - CERP).

3.3. Brechas de personal

En el 2016 en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible al 2030 de la ONU, la OMS actualizó el umbral de profesionales de la salud (suma de médicos, enfermeras y obstetras) por cada 1,000 habitantes, a 4.5 (45 profesionales de la salud por cada 10,000 habitantes) indicador mínimo para cubrir metas de salud más amplias (World Health Organization, 2016).

En el Perú la densidad de profesionales de la salud (suma de médicos, enfermeras y obstetras) por cada 10,000 habitantes actualmente asciende a 44.9 profesionales de la salud por cada 10,000 habitantes (Ministerio de Salud, 2026).

EsSalud al 31 diciembre 2025 según su planilla (EsSalud, 2026e) tenía una densidad promedio 3 profesionales en salud por cada 1000 asegurados. Este resultado evidencia una brecha crítica frente al umbral mínimo recomendado de 4.5 por la OMS para garantizar la cobertura sanitaria universal. Ninguna Red prestacional/asistencial cumple. Las mejores rankeadas son las Redes Prestacionales Rebagliati y Almenara con 4.18 y 4.16 profesionales de salud por cada 1000 asegurados.

En las revisiones del Plan Estratégico Institucional se ha identificado como una debilidad recurrente la insuficiente cantidad de personal asistencial principalmente de médicos, lo que traduce en deficiente calidad de los servicios de salud, imposibilidad de acceso adecuado, extensos tiempos de espera para la atención médica, deficiencias en atención a las áreas rurales, imposibilidad de desarrollo de programas de prevención y detección temprana, deficiencias en el seguimiento y atención especial de enfermedades crónicas.

Si analizamos cantidad de médicos, a diciembre de 2025, el Perú registraba una densidad nacional de 17.9 médicos por cada 10,000 habitantes (Ministerio de Salud, 2026), mientras que EsSalud operaba con una ratio de 13.7 por cada 10,000 asegurados, debajo del promedio nacional. Aunque ambas cifras superan el estándar mínimo de la OMS (10 médicos por cada 10,000 habitantes); sin embargo, este superávit es solo aparente, pues el promedio disfraza una severa concentración de médicos en las redes prestacionales de Lima y Callao (Rebagliati y Almenara, Sabogal) y las principales capitales departamento como Arequipa, Trujillo y Chiclayo. Mientras estas sedes presentan este exceso aparente, 15 redes asistenciales de zonas rurales de la Amazonía y de la sierra central operan en niveles críticos (ratios de 0.6 a 0.8), lo que demuestra que el problema institucional no es solo la falta de personal, sino su desigual distribución geográfica.

De acuerdo con el PEI 2025-2030, EsSalud ha identificado una brecha crítica de 4,298 profesionales asistenciales destinados exclusivamente a potenciar el primer nivel. De este total, la necesidad de 1,068 médicos es prioritaria para fortalecer el primer nivel de atención, pasar de un modelo recuperativo (hospitales) a uno preventivo descongestionando el sistema y corrigiendo dicha distorsión geográfica (EsSalud, 2025).

3.4. Equipamiento biomédico y electromecánico

De acuerdo a la "Norma de Gestión de Mantenimiento Hospitalario en EsSalud" aprobada por Resolución de Gerencia General N°1563-GG- ESSALUD-2019, el equipamiento hospitalario puede encontrarse operativo o no operativo. Si se encuentra operativo, puede tener condición de bueno (si rinde conforme lo establece su estándar de funcionamiento y/o especificación técnica de fábrica y se encuentra dentro de su tiempo de vida útil), regular (si rinde alrededor del 50% de su estándar de funcionamiento o ha superado su tiempo de vida útil) o malo (si rinde alrededor del 25% de su estándar de funcionamiento).

Asimismo, un equipo operativo en condición de malo puede ser malo por reparar, por causa de defectos técnicos y/o físicos severos, y de malo para baja, si además ha superado su tiempo de vida útil, sus repuestos están descontinuados y su mantenimiento correctivo supera el 40% del costo de un equipo nuevo de similares características.

Habiendo hecho estas precisiones, EsSalud cuenta con 66 282 equipos (49 991 biomédicos y 16 291 electromecánicos) distribuidos en los EESS a nivel nacional; de ellos, el 16.32 % se encuentran inoperativos (EsSalud, 2026f). Es evidente que los promedios disfrazan la inoperatividad de equipos biomédicos de alta gama (tomógrafos computarizados de alta gama, Resonadores magnéticos de alto campo, aceleradores lineales, y otros) cuya inactividad impacta en el incremento las listas de espera para cirugías e incrementa los tiempos entre consultas en los hospitales de EsSalud. Ver la tabla 2 a continuación.

Tabla N°2: Equipamiento biomédico y electromecánico

	Operativo	**Inoperativo**	**Total**	**Operativo%**	**Inoperativo%**	**Total**
Biomédicos	**41,049**	**8,942**	**49,991**	61.93	13.49	**75.42**
Electromecánicos	**14414**	**1877**	**16291**	21.75	2.83	24.58
TOTAL	**55,463**	**10,819**	**66,282**	83.68	16.32	**100.00**

Fuente: Plan Operativo Institucional 2026 (p. 7), Seguro Social de Salud, 2026. Datos de la Gerencia Central de Proyectos de Inversión (Software SISMAC, diciembre de 2025).

El Estudio de la Gestión Institucional de EsSalud, elaborado por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), señala que el incremento de la inversión en equipamiento de calidad ha reducido la obsolescencia hasta niveles cercanos al 30% (OIT & EsSalud, 2020) (WHO, 2016). Dicho Estudio encontró una marcada desproporción de equipos entre las diferentes redes, siendo aquellas con gran número de beneficiarios (Sabogal, Piura y Rebagliati) las que tienen una cantidad menor de equipo por cada 1,000 asegurados 3 frente a redes como Pasco, Apurímac y Amazonas que tienen 13 por cada 1000 asegurados. Detectó además que el 46.2% los equi-

pos biomédicos y electromecánicos disponibles, se concentraba en cinco redes asistenciales de salud (Rebagliati, Almenara, Sabogal, La Libertad y Arequipa), mientras que, en las redes asistenciales de Ayacucho, Moquegua, Puno, Cajamarca, Juliaca, Tumbes, Ucayali, Huaraz, Huancavelica, Madre de Dios y Moyobamba el total de equipos no alcanzaba ni el 0.5% de equipos disponibles en el país. (OIT y EsSalud, Ibid.).

Respecto de la vida útil el Estudio en mención, encontró que el 30.4% del total de equipos (26.5% del equipamiento biomédico y 40.8% de los equipos electromecánicos) se encontraban fuera de su vida útil (por lo general de entre 10 a 15 años). En más del 50% de las redes asistenciales se utilizaba más de un 40% de equipos electromecánicos fuera de su vida útil, con los riesgos para la salud y seguridad de los pacientes, riesgos eléctricos o mecánicos, costos de mantenimiento correctivo, etc. (OIT y EsSalud, Ibid.).

3.5. Experiencia Asociaciones Público Privadas

A través de las Asociaciones Público-Privadas (APP), EsSalud transfiere riesgos financieros y técnicos a las empresas privadas, reduce la brecha de infraestructura y moderniza sus servicios sin comprometer su liquidez inmediata ni arriesgar el fondo intangible de los aportes de sus asegurados *y* garantizando prestaciones de salud de calidad.

Para reducir la brecha de infraestructura y equipamiento y mejorar sus servicios EsSalud, ha suscrito a la fecha 6 APP, de las cuales 2 se encuentran funcionando prestando servicio integral de Bata Blanca, Gris y Verde en el Nuevo Hospital III Callao, Alberto Barton Thompson y el Nuevo Hospital III VMT y Guillermo Kaelín de la Fuente desde el 2014 con buenos resultados. Estos contratos de concesión que operan bajo la modalidad de financiamiento autofinanciada, fueron suscritos con BT Group a través de dos empresas consorciadas de propósito específico Callao Salud S.A.C. y Villa María del Triunfo Salud S.A.C.

Una tercera APP viene prestando servicios especializados, mediante la empresa SALOG, que gestiona la logística de medicamentos (almacenamiento, distribución y entrega), opera el Almacén Central de Medicamentos e Insumos Hospitalarios de EsSalud en el Callao, para atender a las redes prestacionales//asistenciales de Lima y Callao, servicios que presta desde febrero de 2010.

Los contratos de concesión para el diseño, construcción y equipamiento hospitalario clínico y no clínico y la Operación y Mantenimiento de los Servicios Bata Gris y Bata Verde de los Hospitales de Alta Complejidad de Piura y Hospital Especializado de Chimbote se suscribieron con la empresa adjudicataria IBT Health LLC (parte de IBT Group), a mediados de 2024. La modalidad de inversión de estos contratos, a diferencia de anteriores, es cofinanciada, exige compromisos, seguros y coberturas financieras especiales del Estado. Ambos proyectos se encuentran actualmente en la fase final de aprobación de sus expedientes técnicos y permisos legales obligatorios. Se estima que deberían empezar la construcción entre fines de 2026 e inicios de 2027.

Al implementar esta modalidad de participación de la inversión privada EsSalud optimiza el uso de los aportes de los asegurados, ya que el financiamiento inicial es asumido enteramente por el inversionista privado y la retribución económica de la institución se convierte en un costo corriente planificado dentro del presupuesto anual. La institución solo retribuye económicamente al concesionario cuando el hospital se encuentra operando al 100% de su capacidad y

bajo niveles de servicio supervisados. Con estos ingresos el concesionario paga los costos de operación, cubre las cuotas de la deuda bancaria y retiene la utilidad neta.

En todos estos casos el Estado a través de EsSalud, controla el desempeño de las empresas concesionarias con metas e indicadores de atención a los asegurados, estado de la infraestructura y equipamiento, así como procesos ágiles y eficientes. En el caso de los hospitales, el pago capitado promueve la eficiencia en costos y un enfoque en prevención y promoción de la salud. Susalud supervisa el desempeño de las concesionarias desde el punto de vista del derecho a la salud de los asegurados.

Según la información de EsSalud, en su Evaluación de Ejecución Presupuestal Anual en el periodo 2016-2025 se observa el crecimiento sostenido de ingresos y egresos, donde los rubros que resaltan son gastos de personal (remuneraciones, bonificaciones, viáticos, entre otros) y servicios prestados por terceros que captan el 76.43% de los egresos. El rubro personal, representa en promedio el 49.98% de los egresos. En los años recientes (2023-2025), la tasa de crecimiento de gastos en personal supera hasta en dos veces la tasa de crecimiento de ingresos, y hasta en 11 veces la tasa de crecimiento de los egresos operativos.

3.6. Presupuesto

El análisis de la ejecución presupuestal 2016-2025 muestra una tendencia estable de crecimiento, en todos sus componentes, excepto en la etapa de la pandemia donde hubo variaciones a la baja, pero pasada la situación de emergencia retomaron su tendencia al alza, como se observa en la tabla 1 Ejecución presupuestal de EsSalud 2016-2025, se analiza principalmente los rubros de ingresos, egresos, gastos de personal e inversiones, lo que se describe en tabla 3.

Los egresos en proyectos de inversión presentan una tasa de crecimiento promedio en el periodo del 24.63%; sin embargo, los montos asignados son ínfimos, representando en promedio apenas el 1.71% de los egresos.

En el período bajo estudio, se obtuvo ingresos por 131 mil millones de soles, se gastaron 129 mil millones, solo en personal se gastó 64 mil millones, y en proyectos de inversión apenas 2 mil millones. ComexPerú, en su semanario 1293 de febrero 2026 manifiesta su preocupación por el monto pagado al personal por bonos de productividad de casi 10 mil millones de soles en el período 2019-2024, en un contexto donde “se atendieron menos pacientes y el tiempo de espera aumentó de 10.4 días a 26.9 días, de acuerdo a la misma entidad” (ComexPerú, 2026).

La gestión financiera deficiente se percibe en la tendencia de crecimiento de egresos operativos que exceden los ingresos (ver la figura 2), la tasa de crecimiento de egresos es superior a la de ingresos, lo que ha generado problemas de liquidez, que fueron cubiertos durante la pandemia mediante transferencias del Tesoro Público, pero que han continuado hasta la actualidad, como indica Comex “por la falta de voluntad de los funcionarios de revisar los desembolsos de EsSalud” (ComexPerú, 2026).

La falta de liquidez temporal pone de manifiesto una incorrecta gestión financiera, sin adecuada previsión del flujo de caja, que impide afrontar las deudas de corto plazo, lo que, de persistir, podría poner en peligro la provisión de bienes y servicios. En el futuro, EsSalud podría caer en insolvencia sostenida, debiendo recurrir a nuevas transferencias del Tesoro Público. Esta situación impacta en la satisfacción del asegurado que reclama ante establecimientos precarios, falta de medicamentos o equipamiento malogrado, entre otros.

El manejo financiero de corto plazo se agrava por situaciones que perjudican la recaudación, tales como deudas impagas del sector público y privado (deuda tributaria ascendente a S/. 2,700 millones y no tributaria ascendente a S/.2,900), gratificaciones de julio y diciembre no sujetas a descuentos (por las que se deja de percibir cerca de S/. 3,000 millones por año), también "subsidios cruzados" como las menores tasas de aporte del sector agrario (se deja de percibir 257 millones por año) y la base imponible máxima en el aporte del trabajador CAS a EsSalud (se deja de percibir S/.257 millones por año).

Tabla N°3: Ejecución presupuestal de EsSalud. Período 2016-2025 en millones S/., como % de ingreso, tasa de crecimiento anual

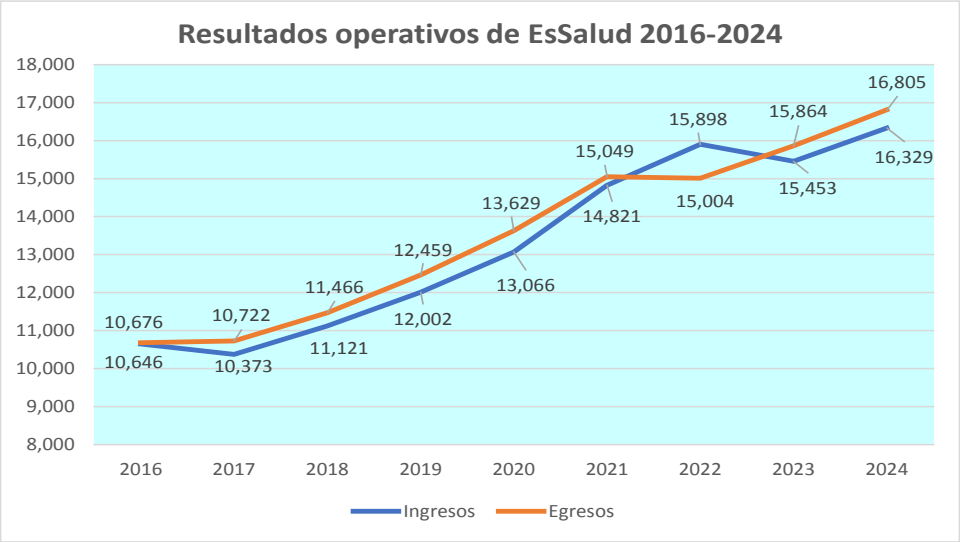
EJECUCIÓN PRESUPUESTAL	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Total periodo
1 INGRESOS DE OPERACION	10,055.6	10,420.1	11,184.9	12,146.3	11,387.3	13,071.5	14,072.0	15,078.6	16,039.8	17,469.5	**130,925.5**
2 EGRESOS DE OPERACIÓN	9,506.9	10,028.7	10,642.6	11,487.8	12,616.6	13,734.5	13,425.9	14,654.7	16,225.3	16,378.0	**128,701.1**
2.2 gastos de personal	4,999.8	5,379.8	5,684.1	6,235.9	5,866.7	5,980.9	6,220.8	7,162.0	7,966.4	8,824.0	**64,320.3**
2.3 servicios prest x terceros	2,199.6	2,172.4	2,335.3	2,425.8	3,751.4	4,820.7	4,128.6	3,990.2	4,134.2	4,088.6	**34,046.9**
3.1.1 PROYECTOS DE INVERSION	157.0	87.4	96.2	123.2	109.8	137.5	279.9	321.6	290.1	594.1	**2,196.8**
5.2 RESULTADO ECONOMICO	-122.7	-60.8	25.0	130.9	-485.5	20.1	-227.3	-229.3	-938.4	-8.2	**-1,896.3**

EJECUTADO COMO % EGRESOS	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	PROM PERIODO
1.1 INGRESOS DE OPERACION	105.8%	103.9%	105.1%	105.7%	90.3%	95.2%	104.8%	102.9%	98.9%	106.7%	**101.73%**
2.1 EGRESOS DE OPERACIÓN	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	**100.00%**
2.2 gastos de personal	52.6%	53.6%	53.4%	54.3%	46.5%	43.5%	46.3%	48.9%	49.1%	53.9%	**49.98%**
2.3 servicios prest x terceros	23.1%	21.7%	21.9%	21.1%	29.7%	35.1%	30.8%	27.2%	25.5%	25.0%	**26.45%**
2.3.1 PROYECTOS DE INVERSION	1.7%	0.9%	0.9%	1.1%	0.9%	1.0%	2.1%	2.2%	1.8%	3.6%	**1.71%**
5.2 RESULTADO ECONOMICO	-1.3%	-0.6%	0.2%	1.1%	-3.8%	0.1%	-1.7%	-1.6%	-5.8%	-0.1%	**-1.47%**

EJECUTADO TASA CRECIMIENTO %	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	PROM PERIODO
1.1 INGRESOS DE OPERACION		3.6	7.3	8.6	-6.2	14.8	7.7	7.2	6.4	8.9	6.47
2.1 EGRESOS DE OPERACIÓN		5.5	6.1	7.9	9.8	8.9	-2.2	9.2	10.7	0.9	6.31
2.2 gastos de personal		7.6	5.7	9.7	-5.9	1.9	4.0	15.1	11.2	10.8	6.68
2.3 servicios prest x terceros		-1.2	7.5	3.9	54.6	28.5	-14.4	-3.4	3.6	-1.1	8.68
2.3.1 PROYECTOS DE INVERSION		-44.3	10.0	28.2	-10.9	25.2	103.6	14.9	-9.8	104.8	24.63
5.2 RESULTADO ECONOMICO		-50.5	-141.2	422.6	-470.9	-104.1	-1,230.4	0.9	309.2	-99.1	-151.51

Fuente: Elaboración propia, basado en EsSalud (2016-2025) Ejecución Presupuestal

Figura N°2: Tendencia de ingresos operativos y egresos operativos



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de ComexPerú (2026), EsSalud (2026a)

3.6.1. Presupuesto institucional de apertura de EsSalud (PIA)

El PIA para el presente año es de S/. 19,189,447,194, el 96.8% de ingresos provienen de aportaciones del sector privado por S/.18,568,152,939 (EsSalud, 2026). Interpretando la información presupuestal, en la tabla 4, el mayor egreso de operación lo constituye el destinado a los gastos operativos de las Redes Asistenciales, S/.13,268,450,023 (69.4%). El gasto asignado a remuneraciones en las redes asistenciales equivale al 54.9%. del presupuesto total para dichas Redes y 39.3% del monto asignado para programas centrales administrados por encargo, se destina a remuneraciones de las dependencias de la sede Central.

Tabla N°4: Gastos Operativos de las Redes Prestacionales y Asistenciales 2026 en soles

	Totales	% de ingresos	Remuneraciones	Remuneraciones % del total
1.1 Ingresos de operación	19,189,447,194	100.00%	**9,034,923,882**	47.08%
- Ing. aportes de sector privado	18,568,152,939	96.76%		
1.2 Egresos de operación				
- Redes asistenciales	13,268,450,023	69.14%	7,278,446,047	54.86%
- Administración por encargo	3,920,104,089	20.43%	1,541,598,636	39.33%
- AFESSALUD	248,899,788	1.30%	214,879,199	86.33%
Total egresos de operación	17,437,453,900	90.87%	**9,034,923,882**	51.81%

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de EsSalud (2026a)

La elevada participación de las remuneraciones en gastos operativos requiere de un análisis exhaustivo, y el planteamiento de una política salarial basada en evaluación del desempeño, productividad y resultados, como incentivo para la mejora en la prestación de los servicios en EsSalud.

En general, se observa una estructura de costos desequilibrada, situación que refleja la formulación del presupuesto sobre la base de una proyección histórica simple, basada en objetivos y metas inerciales, sin analizar costos, anticipar escenarios futuros ni atender a las necesidades reales.

En la tabla 3 se observa las prioridades en la asignación de recursos, mientras remuneraciones capta casi 50% del gasto operativo de EsSalud, las inversiones bordean un exiguo 3.2%, es previsible que la cobertura, capacidad de atención y prestación del servicio, se deteriore año a año y aumente la brecha entre la oferta requerida versus la oferta real de servicios de salud.

Tabla N°5: Prioridad de inversiones dentro del presupuesto de egresos 2026

	Sub totales	% de egresos operación
1.2 Egresos de operación		
- Remuneraciones	9,034,923,882	47.87%
- Bienes y servicios (e)	8,953,372,217	47.44%
- Inversiones	601,116,145	3.19%
- Otros	283,353,989	1.50%
Total egresos de operación	18,872,766,233	100.00%

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de EsSalud (2026a)

Para el año 2026 el presupuesto de inversiones es de S/. 601,116,145.00, comprende 396 millones de soles, destinados a 40 proyectos de inversión, obras de construcción, ampliación o modernización de ambientes y servicios de salud. en distintos departamentos del país y, 204 millones de soles, para la compra, reposición y renovación de equipos médicos y asistenciales.

El costo total de las inversiones del Programa Multianual de Inversiones (PMI) de EsSalud para el período 2026-2028, bajo Invierte.pe asciende a S/ 3 849 900 265, incluye una amplia gama de proyectos e intervenciones, Inversiones en APP, a largo plazo, pero la capacidad financiera real para inversiones está limitada a lo presupuestado en el año fiscal (EsSalud, 2026d).

Los bajos niveles de inversión presupuestados cada año reflejan una discutible visión de desarrollo de largo plazo, que deriva, posiblemente, de la falta de autonomía real en el manejo de los fondos, de la improvisación en el manejo de EsSalud, frecuentes rotaciones de su alta dirección, derivado posiblemente de la poca institucionalidad y “debilidad del consejo directivo” (ComexPerú, 2026).

En general, la situación de déficit operativo combinada con el ínfimo nivel de inversión planeado muestra falta de estrategia de largo plazo e inexistencia de prioridades en el gasto, a pesar de que, en la atención primaria, el 76% de EESS funcionan con infraestructura inadecuada y se requieren 156 EESS nuevos (EsSalud, 2026c),

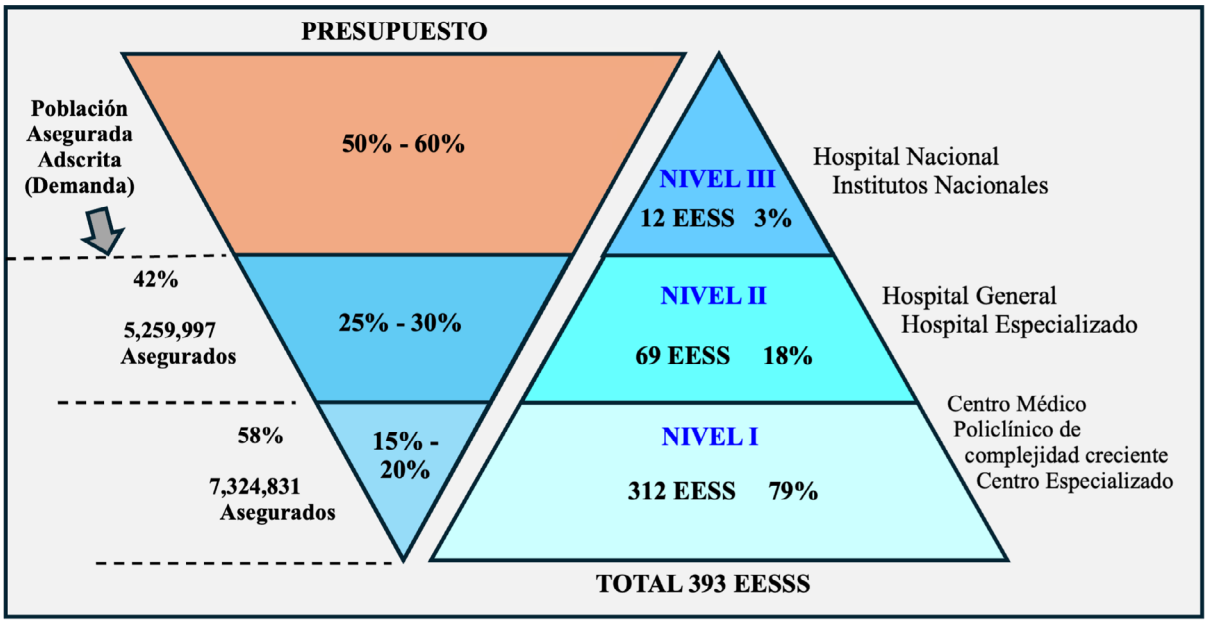
3.6.2. Asignación Presupuestal según niveles de Establecimientos de Salud

La Resolución de Gerencia General N°1471-GGESSALUD-2013, aprobó la Directiva N°018-GG-ESSALUD-2013 que clasifica los EESS por niveles de atención en función a la complejidad (especialización, tecnología, dificultad de intervenciones o tratamientos) y capacidad resolutiva.

El modelo prestacional de EsSalud, enfatiza su actuación en la atención recuperativa de la salud, lo que se refleja en la asignación presupuestal, que prioriza a los establecimientos especializados en la atención de enfermedades complejas (Niveles II y III). Como consecuencia, se debilita la Atención primaria de salud. limitando las acciones de prevención, filtro y contención en el primer nivel. En otras palabras, la asignación presupuestal se orienta hacia el nivel de mayor complejidad en desmedro del primer nivel de atención.

La población asegurada de EsSalud comprende más de 12 millones de asegurados, adscritos a 381 EESS de nivel I y II. El nivel I y II cubre la demanda del 100% de asegurados, pero solo recibe entre 40% y 50% del presupuesto de EsSalud, como se detalla en la figura 3.

Figura N°3: Asignación de presupuesto y población asegurada según niveles de EESS en EsSalud.



Fuente: Elaboración propia, adaptado de Gerencia Central de Prestaciones de salud 2025

Del total de asegurados de 12.6 millones, el Nivel I con 58% de asegurados (7.3 millones) es atendido por el 79% de EESS (312 EESS) y se le asigna hasta el 20% del presupuesto; el Nivel II con 42% de asegurados (5.3 millones) es atendido por el 18% de EESS (69 EESS que comprende hospitales generales y hospitales especializados) y se le asigna hasta el 30% del presupuesto. El Nivel III no tiene población asegurada adscrita, los pacientes son referidos a este nivel por tener patologías complejas que superan la capacidad resolutiva de los Niveles I y II, es atendido por el 3% de EESS (12 EESS que comprende hospitales de referencia nacional e institutos nacionales) y se le asigna hasta el 55% del presupuesto.

4. Discusiones preliminares

Las discusiones iniciales se concentran en la atención en los EESS, la que se representa como una pirámide en cuya base se ubican los EESS de nivel I que corresponde a la atención primaria, acceso al sistema de salud, su objetivo es resolver los problemas médicos más comunes y prevenir enfermedades, actuando como mecanismo de contención y evitar congestión en los hospitales y emergencias de los niveles superiores.

En cambio, la asignación presupuestal se representa como una pirámide invertida, donde se asigna menores recursos a los niveles I y II, y se prioriza el nivel III, el cual absorbe la mitad de los recursos de la entidad para atender patologías de alta especialización. Esta situación representa una deficiente asignación de recursos ya que se posterga la atención primaria, urgente y crítica en el contexto de salud peruano y se privilegia la atención especializada de un reducido número de pacientes que no alcanzan el 1% de asegurados.

5. Conclusiones preliminares

Es necesario analizar las causas de los problemas con técnicas de análisis de organizaciones, a fin de desarrollar las propuestas de mejora, lo que se presenta en la segunda parte del artículo de investigación.

6. Agradecimiento

Expreso mi agradecimiento al Dr. José Félix Palomino Manchego, Decano de la Facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, y al Dr. Francisco Rogger Carruitero Lecca asesor de tesis de doctorado por su apoyo y orientación en el desarrollo de mi trabajo de investigación doctoral, base del presente artículo, cuya visión y orientación constituyen pilares fundamentales para la culminación de mi estudio doctoral.

7. Literatura citada

ComexPerú (2025). Diagnóstico y propuestas para mejorar EsSalud11/11/2025. Seguro Social de Salud-EsSalud ¿Por qué no funciona? https://comexperu.org.pe/ articulo/ diagnostico-y-propuestas-para-mejorar-essalud

ComexPerú (2025b). EsSalud: retrocesos en telemedicina e intercambio prestacional tras la pandemia. https://www.comexperu.org.pe/articulo/essalud-retrocesos-en-telemedicina-e-intercambio-prestacional-tras-la-pandemia

ComexPerú (2026). EsSalud: más gasto, menos margen y mayor riesgo de depender de transferencias. 27/02/26. https://www.comexperu.org.pe/articulo/essalud-mas-gasto-menos-margen-y-mayor-riesgo-de-depender-de-transferencias

Contraloría General de la República CGR (2024). Índice de Riesgos de Corrupción e Inconducta Funcional INCO 2024. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6520701/5686160-indice-de-la-corrupcion-e-inconducta-funcional-inco-2o23%282%29.pdf?v=1720800749

EsSalud Seguro Social de Salud (2017). Ejecución Presupuestal Ejercicio 2016.

EsSalud (2018). Ejecución Presupuestal Ejercicio 2017.

EsSalud (2019). Plan Estratégico de Inversiones 2019-2035. Gerencia Central de Proyectos de Inversión.

EsSalud (2019b). Hacia la modernización de la Seguridad Social en el Perú. Libro blanco para el diálogo. Políticas y hoja de ruta para el fortalecimiento del Seguro Social de Salud - EsSalud 2019-2022. https://www.essalud.gob.pe/transparencia/libro_blanco/libro_blanco_1.pdf#:~:text=Desde%20que%20asumimos%20la%20conducci%C3%B3n%20de%20EsSalud,3)%20fortalecer%20el%20primer%20nivel%20de%20atenci%C3%B3n.

EsSalud (2019c). Ejecución Presupuestal Ejercicio 2018.

EsSalud (2020). Ejecución Presupuestal Ejercicio 2019.

EsSalud (2021). Ejecución Presupuestal Ejercicio 2020.

EsSalud (2022). Ejecución Presupuestal Ejercicio 2021.

EsSalud (2023). Ejecución Presupuestal Ejercicio 2022.

EsSalud (2024)**.** Plan Estratégico Institucional 2025-2030**.** Gerencia Central De Planeamiento y Presupuesto.

EsSalud (2024b). Ejecución Presupuestal Ejercicio 2023.

EsSalud (2025). Informativo Mensual. EsSalud en cifras, cifras definitivas a diciembre 2025. Gerencia Central de Planeamiento y Presupuesto.

EsSalud (2025b). Memoria Anual 2025. Gerencia Central de Planeamiento y Presupuesto.

EsSalud (2025c). Ejecución Presupuestal Ejercicio 2024.

EsSalud (2026). Resolución de Gerencia General N° 000451-GG-EsSalud- 2026. Presupuesto a nivel Desagregado por Fondos y Dependencias del Presupuesto Institucional de Apertura del Seguro Social de Salud (EsSalud) correspondiente al Año Fiscal 2026.

EsSalud (2026b). Población Agregada de EsSalud actualizada a enero 2026. Gerencia Central de Planeamiento y Presupuesto Estadísticas actualizadas a enero 2026. https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZWJjYTMyNGYtOTE0ZS00NWJmLTg0MDgtNGQ4NmM3NDEzYjMxIiwidCI6IjM0ZjMyNDE5LTFjMDUtNDc1Ni04OTZlLTQ1ZDYzMzcyNjU5YiIsImMiOjR9.

EsSalud (2026c). Estadísticas actualizadas a enero 2026. Gerencia Central de Planeamiento y Presupuesto.

EsSalud (2026d). Programa Multianual de Inversiones (PMI) 2027-2029 del Seguro Social de Salud – ESSALUD. Gerencia Central de Planeamiento y Presupuesto, Gerencia de Programación Multianual.

EsSalud (2026 e). Información de personal por grupos ocupacionales y niveles - IV Trimestre 2025. Gerencia Central de Gestión de las Personas. Portal de Transparencia Estándar. transparencia.gob.pe.

EsSalud (2026f). Plan Operativo Institucional 2026 (Informe N.º 7615921). Plataforma digital única del Estado Peruano. https://www.gob.pe/institucion/essalud/ informes-publicaciones/7615921-plan-operativo-institucional-2026

EsSalud (2026g). Informe de evaluación del Plan Estratégico Institucional 2025-2030 (al segundo semestre del 2025). Gerencia Central de Planeamiento y Presupuesto.essalud.gob.pe.

EsSalud (2026g). Ejecución Presupuestal Ejercicio 2025.

INEI Instituto Nacional de Estadística e Informática (2025). Informe Técnico: Perú, Condiciones de Vida, cuarto trimestre 2025 (Encuesta Nacional de Hogares). inei.gob.pe

MINSA Ministerio de Salud (2026). Indicadores de recursos humanos en salud: Densidad de médicos, enfermeras y obstetras por cada 10,000 habitantes - Cierre 2025. Dirección General de Personal de la Salud; Observatorio de Recursos Humanos en Salud. minsa.gob.pe

MINSA (2016, 27 de febrero). Decreto Supremo N° 010-2016-SA. Apruébese las "Disposiciones para las Instituciones Administradoras de Fondos de Aseguramiento en Salud Públicas – IAFAS Públicas". Diario Oficial El Peruano. https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1350195-1.

OIT Organización Internacional del Trabajo (2024). Opiniones, percepciones y valoraciones de los trabajadores de EsSalud sobre el desempeño institucional. https://www.ilo.org/sites/default/files/2024-08/ESTUDIO%20SOBRE%20LAS%20OPINIONES.pdf

OIT&EsSalud Oficina de la OIT para los Países Andinos & Seguro Social de Salud. (2020). Evaluación de la gestión institucional de EsSalud. Repositorio Institucional de EsSalud. essalud.gob.pe

Videnza Consultores. (2020, septiembre). Marco general del sistema de salud (Documento de investigación). Redes - Promoción de la Inversión en Infraestructura. https://www.redesarrollo.pe/wp-content/uploads/2020/09/marco-general-del-sistema-de-salud.pdf

Videnza Consultores (2020b). Sistema de salud en el Perú. https://videnzaconsultores.org/wp-content/uploads/2023/05/Nota-de-Politica.pdf

WHO World Health Organization (2016). Health workforce requirements for universal health coverage and the Sustainable Development Goals (Human Resources for Health Observer Series No. 17). who.int

Ciencias Básicas

Factores que influyen en el incremento de la acidez del aceite de soya al utilizar arcillas acido-activadas en el proceso de producción en Chosica - Lurigancho

Mag. Jhon Perez Ayala
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: jp1806perez@gmail.com

Mag. Willy Hugo Calsina Miramira Universidad
Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: willy.calsina@unmsm.edu.pe

Recibido: 04 Septiembre 2026 Aceptado:10 Noviembre 2026

Resumen: El blanqueo es una etapa crítica en la refinación del aceite de soya, orientada a eliminar impurezas y pigmentos mediante arcillas activadas; sin embargo, este proceso puede incrementar la acidez del aceite, comprometiendo su calidad final. El presente estudio analizó 10.000 registros de planta de una refinería ubicada en Chosica-Lurigancho, Perú, con el objetivo de evaluar la influencia de la temperatura (80–115°C), la concentración de jabón (90–580 ppm) y la calidad del vacío (18–28 inHg) sobre la acidez del aceite, expresada como porcentaje de ácido oleico. El análisis estadístico se realizó con el software Minitab bajo metodología Six Sigma. Los resultados mostraron que la acidez se incrementa con la concentración de jabón, tendiendo a estabilizarse a partir de ciertos umbrales (p. ej., 130 ppm a 88°C), mientras que variaciones de 1°C en la temperatura produjeron cambios medibles en la acidez. La calidad del vacío resultó ser el factor más crítico: condiciones de vacío deficiente (18–22 inHg) elevaron significativamente la acidez en comparación con un vacío óptimo (26–28 inHg). Estos hallazgos confirman que la concentración de jabón, la temperatura y, especialmente, la calidad del vacío son variables clave en el control de la acidez durante el blanqueo, y su gestión precisa es fundamental para garantizar la calidad del aceite y el cumplimiento de las normas técnicas vigentes.

Palabras clave: Aceite de soya/ Blanqueo/ Arcillas activadas/ Acidez/ Vacio.

Abstract: Bleaching is a critical stage in soybean oil refining, aimed at removing impurities and pigments through activated clays; however, this process can increase oil acidity, compromising its final quality. This study analyzed 10,000 plant records from a refinery located in Chosica-Lurigancho, Peru, to evaluate the influence of temperature (80–115°C), soap concentration (90–580 ppm), and vacuum quality (18–28 inHg) on oil acidity, expressed as percentage of oleic acid. Statistical analysis was performed using Minitab software under a Six Sigma methodology. Results showed that acidity increased with soap concentration, tending to stabilize beyond certain thresholds (e.g., 130 ppm at 88°C), while temperature variations of 1°C produced measurable changes in acidity. Vacuum quality proved to be the most critical factor: deficient vacuum conditions (18–22 inHg) significantly elevated acidity compared to optimal vacuum (26–28 inHg). These findings confirm that soap concentration, temperature, and parti-

cularly vacuum quality are key variables controlling acidity during bleaching, and their precise management is essential to ensure oil quality and compliance with technical standards.

Keywords: Soybean oil / Bleaching / Activated clays/ Acidity/ Vacuum.

Résumé: La décoloration est une étape critique du raffinage de l'huile de soja, visant à éliminer les impuretés et les pigments au moyen d'argiles activées ; toutefois, ce processus peut accroître l'acidité de l'huile, compromettant ainsi sa qualité finale. La présente étude a analysé 10 000 relevés industriels provenant d'une raffinerie située à Chosica-Lurigancho, au Pérou, afin d'évaluer l'influence de la température (80–115 °C), de la concentration en savons (90–580 ppm) et de la qualité du vide (18–28 inHg) sur l'acidité de l'huile, exprimée en pourcentage d'acide oléique. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel Minitab, selon la méthodologie Six Sigma. Les résultats ont montré que l'acidité augmente avec la concentration en savons, tout en tendant à se stabiliser au-delà de certains seuils (par ex. 130 ppm à 88 °C), tandis que des variations de température de 1 °C ont entraîné des changements mesurables de l'acidité. La qualité du vide s'est avérée être le facteur le plus critique : des conditions de vide insuffisantes (18–22 inHg) ont entraîné une augmentation significative de l'acidité par rapport à un vide optimal (26–28 inHg). Ces conclusions confirment que la concentration en savons, la température et, tout particulièrement, la qualité du vide constituent des variables clés pour le contrôle de l'acidité durant la décoloration ; leur gestion précise est donc fondamentale pour garantir la qualité de l'huile et le respect des normes techniques en vigueur.

Mots-clés: Huile de soja / Décoloration / Argiles activées / Acidité / Vide.

1. Introducción

La creciente demanda mundial de aceites y grasas vegetales ha impulsado el desarrollo de procesos de refinación más eficientes, orientados a garantizar la calidad del producto final destinado al consumo humano. Los frutos oleaginosos desempeñan un papel fundamental como materia prima en diversas aplicaciones industriales, lo que subraya la necesidad de mantener altos estándares de calidad en los aceites que se entregan al consumidor. Para ello, el aceite crudo es sometido a un proceso de refinación que comprende etapas sucesivas: desgomado, neutralizado, lavado, blanqueo y desodorizado, cada una de las cuales incide directamente en las propiedades fisicoquímicas del producto final (Mounts y Khym, 1983).

El blanqueo constituye una etapa crítica de este proceso, cuyo objetivo principal es eliminar pigmentos, impurezas y compuestos no deseados —incluyendo ácidos grasos libres— mediante el uso de arcillas minerales denominadas tierras de blanqueo (González, 2006). En la industria refinadora se utilizan principalmente dos tipos de arcillas: las ácido-activadas y las neutras. Las primeras son ampliamente preferidas por su elevado poder decolorante; sin embargo, presentan una desventaja significativa: confieren acidez al aceite al promover su hidrólisis y la consecuente liberación de ácidos grasos libres (Badui, 2006). Las arcillas neutras, por su parte, no elevan la acidez del aceite, pero su capacidad decolorante es menor, razón por la cual su uso está condicionado a las exigencias de color del producto final en cada planta refinadora.

Graciani (2012) precisa que el incremento en la acidez libre durante el blanqueo está directamente relacionado con cuatro variables: la acidez de la tierra empleada, la cantidad adicionada, la temperatura de trabajo y el tiempo de contacto. Esta interacción multivariable hace que el

control del proceso sea complejo, especialmente en instalaciones industriales de mediana y pequeña escala que operan con recursos tecnológicos limitados. En estas condiciones, si el aceite blanqueado ingresa a la etapa de desodorizado con una acidez elevada y el sistema no dispone de un vacío suficiente, los ácidos grasos libres no pueden eliminarse completamente, comprometiendo la estabilidad oxidativa y la calidad del producto final. La presencia de ácidos grasos libres en exceso, además, constituye un sustrato fácilmente atacable por el oxígeno, lo que acelera la oxidación del aceite y reduce su vida útil. Esto tiene consecuencias prácticas importantes: por ejemplo, los fabricantes de mayonesa y otros productos emulsionados prefieren aceites con baja acidez, dado que una acidez elevada compromete la estabilidad de la emulsión.

Hernández (2004) establece que el contenido de ácidos grasos libres tras la refinación debe ser inferior a 0,10%, siendo la meta óptima un valor de 0,05% o menos. En la práctica industrial, plantas refinerías con sistemas de vacío deficiente pueden registrar acideces superiores a 0,25% tras el blanqueo, valor que excede ampliamente los límites aceptables si no se corrige en etapas posteriores. Estos parámetros están respaldados por la norma internacional Codex STAN 210-1999 y su equivalente peruana NTP CODEX STAN 210:2014, que fijan un valor máximo de 0,6 mg KOH/g para aceites vegetales refinados. El cumplimiento de estas normativas es un requisito indispensable para la comercialización del aceite refinado tanto en el mercado nacional como en el internacional.

Diversos estudios han abordado aspectos relacionados con el blanqueo de aceites vegetales y el comportamiento de las arcillas adsorbentes. González (2006) evaluó el efecto del blanqueo sobre la calidad química del aceite de soya utilizando tierras reactivadas, encontrando que la incorporación de 50% de tierras activadas en el proceso permite obtener aceite de calidad, y que el tipo de reactivación tiene un efecto altamente significativo sobre los parámetros fisicoquímicos del aceite blanqueado. Por su parte, Márquez et al. (2012) evaluaron el comportamiento de distintos materiales adsorbentes en el blanqueo de aceite crudo de palma, concluyendo que la combinación de carbón activado y arcilla es más efectiva en la eliminación de pigmentos carotenoides y fósforo, aunque el color final del aceite no guarda una relación directa con la capacidad adsorbente del material utilizado.

En el campo de la purificación de aceites de freído, Trujillo (2013) diseñó y evaluó una metodología basada en adsorción, demostrando que el uso de bentonita no altera la composición del aceite vegetal y que es posible purificar aceites degradados hasta niveles aceptables para reintegrarlos al ciclo productivo. Desde la perspectiva del aprovechamiento de subproductos, Gorveña (2015) demostró la viabilidad de reutilizar borras ácidas y tierras agotadas de blanqueo provenientes de la refinación de aceites lubricantes, reactivándolas mediante neutralización alcalina y calcinación, lo que abre perspectivas interesantes para la gestión de residuos en plantas refinadoras.

En el contexto específico del aceite de palma, Salazar (2019) evaluó la reutilización de tierras provenientes de la etapa de blanqueo en la refinación industrial, verificando el cumplimiento de los parámetros establecidos por las normas AOCS y Codex Stan 210, y reportando que el uso de tierras neutras puras reduce la acidez hasta un pH de 3,4 posterior al blanqueo. De manera complementaria, Betancourt (2020) evaluó técnica y económicamente un método de reactivación de tierras de blanqueo usadas en la refinación de aceite de palma, determinando que el n-hexano como solvente y condiciones de calcinación a 500°C por 120 minutos permiten alcanzar un porcentaje de reactivación mínimo del 80% en comparación con el desempeño de la tierra virgen.

Si bien los estudios mencionados aportan valiosa información sobre el comportamiento de las arcillas adsorbentes y la calidad del aceite blanqueado, ninguno aborda de manera específica y simultánea la influencia de la temperatura, la concentración de jabón residual y la calidad del vacío sobre la acidez del aceite de soya en condiciones reales de producción industrial a gran escala. Este vacío en la literatura resulta especialmente relevante para la industria refinadora peruana, donde las plantas de mediana capacidad enfrentan limitaciones tecnológicas que hacen crítico el control de estas variables en la etapa de blanqueo.

Por lo expuesto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar los factores que influyen en el incremento de la acidez del aceite de soya al utilizar arcillas ácido-activadas en la etapa de blanqueo del proceso de refinación, a partir del análisis de 10.000 registros de planta de una refinería ubicada en Chosica-Lurigancho, Perú, aplicando análisis estadístico con Minitab y metodología Six Sigma.

2. Materiales y métodos

2.1. Localización del experimento

El presente estudio se llevó a cabo con datos provenientes de una planta refinadora de aceite de soya ubicada en el distrito de Lurigancho-Chosica, provincia de Lima, región Lima, Perú. La planta opera bajo un sistema de refinación convencional que comprende las etapas secuenciales de desgomado, neutralizado, lavado, blanqueo y desodorizado. En la etapa de blanqueo, la planta utiliza arcillas ácido-activadas de la marca comercial Tonsil, adicionadas a razón de 3 bolsas de 25 kg por lote procesado.

2.2. Tipo y diseño de investigación

La investigación fue de tipo descriptivo-explicativo. Descriptivo, en tanto caracterizó el comportamiento de las variables del proceso de blanqueo en condiciones reales de operación industrial; y explicativo, dado que buscó establecer relaciones de causa y efecto entre las variables independientes y la acidez del aceite. El diseño fue no experimental y transversal, ya que no se manipularon las variables del proceso, limitándose el estudio al análisis sistemático de los registros históricos generados durante la operación normal de la planta, sin intervención sobre las condiciones productivas.

2.3. Fuente de datos y periodo de estudio

Se analizaron 248 registros de planta correspondientes al período 2023-2024, obtenidos de la base de datos operacional de la refinería, conformada por documentos procesados tanto en forma de base de datos digital como mediante registros ingresados manualmente. Dado que el total de registros disponibles era accesible y finito, la muestra fue igual a la población, incluyendo el 100% de los registros generados durante el período de estudio. Cada registro consignó de manera simultánea los valores de las variables independientes y el valor de acidez del aceite blanqueado como variable dependiente, permitiendo el análisis multivariable del proceso.

2.4. Variables de estudio

Se definió como variable dependiente la acidez del aceite de soya blanqueado, expresada como porcentaje de ácido oleico (% ácido oleico), determinada analíticamente a partir de muestras tomadas al término de cada ciclo de blanqueo. Las variables independientes fueron tres:

- Temperatura de blanqueo (°C): registrada mediante termómetro industrial integrado al equipo de blanqueo, con un rango operacional de 80 a 115°C.
- Concentración de jabón residual (ppm): expresada como oleato de sodio, determinada por análisis químico de la muestra de aceite previo al blanqueo, con un rango de 90 a 580 ppm.
- Calidad del vacío (inHg): medida mediante vacuómetro instalado en el sistema, con un rango operacional de 18 a 28 inHg. Para el análisis comparativo se establecieron dos niveles: vacío deficiente (18-22 inHg) y vacío óptimo (26-28 inHg).

La cantidad de arcilla adsorbente utilizada se mantuvo constante en todos los registros —3 bolsas de Tonsil de 25 kg cada una— con el fin de aislar el efecto de las tres variables independientes sobre la acidez.

2.5. Técnica de recolección de datos

La recolección de datos se realizó mediante análisis de contenido cuantitativo, registrando sistemáticamente los valores de cada variable en cada ciclo de blanqueo durante el período de estudio. Los valores de acidez fueron determinados por el laboratorio de control de calidad de la planta, siguiendo los métodos analíticos establecidos por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC) para aceites y grasas vegetales. Los registros de temperatura, concentración de jabón y calidad del vacío fueron tomados directamente de los instrumentos de medición instalados en la línea de producción.

2.6. Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó mediante el software Minitab 17, aplicando la metodología Six Sigma para la identificación y control de variables críticas del proceso. Se emplearon las siguientes técnicas estadísticas: prueba t de una muestra (One Sample T) y de dos muestras (Two Sample T) para la comparación de medias entre grupos; análisis de regresión para evaluar la relación funcional entre las variables independientes y la acidez; coeficiente de correlación de Pearson para cuantificar el grado de asociación lineal entre variables; y coeficiente de correlación de Spearman para el análisis de hipótesis, dado el carácter no paramétrico de algunas distribuciones. El nivel de significancia utilizado fue $\alpha = 0,05$ para todas las pruebas realizadas.

Los datos fueron organizados y agrupados según los niveles de cada variable independiente para facilitar el análisis comparativo: por rangos de concentración de jabón (90-200 ppm, 200-360 ppm, 360-580 ppm), por rangos de temperatura (80-90°C, 90-105°C, 105-115°C) y por nivel de vacío (óptimo vs. deficiente), permitiendo identificar los umbrales críticos de cada variable sobre la acidez del aceite.

3. Resultados y discusión

3.1. Efecto de la concentración de jabón sobre la acidez del aceite

El análisis de los registros de planta evidenció una relación positiva y progresiva entre la concentración de jabón residual expresado como oleato de sodio y la acidez del aceite de soya blanqueado. A condiciones de vacío óptimo (26-28 inHg) y temperatura de 80°C, un incremento de apenas 30 ppm en la concentración de jabón —de 110 a 140 ppm— elevó la acidez de 0,0552% a 0,0860% de ácido oleico (Tabla 1), lo que representa un incremento relativo de 55,8% en la acidez con una variación mínima en la concentración de jabón, evidenciando la alta sensibilidad del proceso ante esta variable.

Este comportamiento se mantuvo consistente a lo largo de todo el rango evaluado. A concentraciones bajas de jabón (90 ppm) y temperatura de 89°C, la acidez registrada fue de 0,0414%, valor que se encuentra dentro del rango óptimo establecido por Hernández (2004), quien indica que el contenido de ácidos grasos libres posterior a la refinación debe ser inferior a 0,10%, siendo la meta ideal 0,05% o menos. Sin embargo, al incrementarse la concentración de jabón a 500 ppm a temperatura de 105°C, la acidez alcanzó 0,1765% (Tabla 2), superando ampliamente dicho umbral y aproximándose al límite crítico de 0,25% reportado en condiciones industriales problemáticas.

Tabla N°1: Efecto de la concentración de jabón sobre la acidez del aceite a 80°C y vacío optimo (26-28 inHg)

Temperatura (°C)	Jabón (ppm)	Acidez (% ac. Oleico)	Vacío (inHg)
80	110	0,0552	26-28
80	140	0,0860	26-28

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°2: Efecto de concentraciones elevadas de jabón sobre la acidez a temperaturas entre 101-115°C y vacío optimo.

Temperatura (°C)	Jabón (ppm)	Acidez (% ac. Oleico)	Vacío (inHg)
105	90	0,0600	26-28
105	200	0,1058	26-28
101	300	0,1100	26-28
106	360	0,1700	26-28
105	500	0,1765	26-28

Fuente: Elaboración propia

Un hallazgo relevante fue la identificación de un comportamiento no lineal en la relación jabón-acidez. Entre 200 y 300 ppm la variación de acidez fue moderada y relativamente estable, mientras que al superar los 360 ppm se produjo un salto significativo en la acidez, de 0,1058% a 0,1700%. Este patrón sugiere la existencia de un umbral crítico aproximado de 360 ppm, a partir del cual los mecanismos de generación de ácidos grasos libres se intensifican notablemente.

Una posible explicación es que, a concentraciones elevadas de jabón, la interacción entre el oleato de sodio y las arcillas ácido-activadas favorece reacciones de hidrólisis de triglicéridos, generando ácidos grasos libres de manera acelerada. Martínez et al. (2015) respaldan este mecanismo al señalar que el jabón residual actúa como catalizador de la hidrólisis de triglicéridos, incrementando progresivamente la concentración de ácidos grasos libres en el aceite. Por su parte, Van Gerpen et al. (2004) indican que una mayor concentración de compuestos polares y subproductos —como los generados por el exceso de jabón— incrementa significativamente la acidez del aceite refinado.

Desde el punto de vista del control del proceso, estos resultados indican que mantener la concentración de jabón por debajo de 130 ppm a temperaturas de 88-89°C permite obtener valores de acidez inferiores a 0,10%, cumpliendo con las metas de calidad establecidas. Esto implica que una etapa de lavado eficiente previa al blanqueo, que garantice la eliminación del jabón residual a niveles mínimos, es fundamental para el control de la acidez en esta etapa.

3.2. Efecto de la temperatura sobre la acidez del aceite

El análisis de registros a temperatura controlada demostró que variaciones de apenas 1°C en la temperatura de blanqueo producen cambios medibles en la acidez del aceite, lo que refleja la alta sensibilidad térmica del proceso. A 88°C con concentraciones de jabón de 110, 120 y 130 ppm, la acidez varió entre 0,0681% y 0,0750%; mientras que a 89°C con concentraciones similares de jabón (90, 100 y 120 ppm), los valores oscilaron entre 0,0574% y 0,0700% (Tabla 3).

Tabla N°3: Efecto de la temperatura sobre la acidez del aceite a vacío optimo (26-28 in Hg).

Temperatura (°C)	Jabón (ppm)	Acidez (% ac. Oleico)	Vacío (inHg)
105	90	0,0600	26-28
105	200	0,1058	26-28
101	300	0,1100	26-28
106	360	0,1700	26-28
105	500	0,1765	26-28

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4: Efecto combinado de temperatura constante y concentración creciente de jabón sobre la acidez.

Temperatura (°C)	Jabón (ppm)	Acidez (% ac. Oleico)	Vacío (inHg)
90	80	0,0454	26-28
90	100	0,0583	26-28
90	517	0,1000	26-28
90	532	0,1100	26-28
90	800	0,1400	26-28

Fuente: Elaboración propia

La comparación entre ambas temperaturas a concentraciones de jabón equivalentes reveló que el incremento de 89°C a 88°C produjo una variación en la acidez de 0,0700% a 0,0750%, lo que, si bien parece marginal en términos absolutos, representa un incremento relativo de 7,1% atribuible exclusivamente al cambio de temperatura. Esta sensibilidad se amplifica considera-

blemente a concentraciones mayores de jabón, donde la temperatura actúa como factor potenciador de la hidrólisis. A una temperatura constante de 90°C, el incremento en la concentración de jabón de 80 ppm (acidez de 0,0454%) a 517 ppm (acidez de 0,100%) representó un aumento de 120% en la acidez, evidenciando la interacción entre ambas variables (Tabla 4).

Estos resultados son coherentes con lo indicado por Martínez et al. (2015), quienes señalan que el blanqueo con arcillas ácido-activadas debe realizarse en un rango controlado de 90 a 110°C, ya que temperaturas fuera de este intervalo pueden favorecer reacciones indeseadas que incrementan los ácidos grasos libres, especialmente en presencia de jabón o agua residual. Los datos obtenidos sugieren además que, dentro del rango operacional evaluado, la temperatura actúa principalmente como factor modulador del efecto del jabón, amplificando o atenuando su impacto sobre la acidez según el nivel térmico del proceso.

3.3. Efecto de la calidad del vacío sobre la acidez del aceite.

La calidad del vacío resultó ser el factor de mayor impacto sobre la acidez del aceite blanqueado, superando en magnitud al efecto individual de la temperatura y la concentración de jabón. La comparación directa entre condiciones de vacío óptimo (26-28 inHg) y vacío deficiente (18-22 inHg) a condiciones similares de temperatura y jabón reveló diferencias de hasta el doble en los valores de acidez registrados (Tabla 5).

El caso más ilustrativo se observó a 90°C: con 517 ppm de jabón y vacío óptimo la acidez fue de 0,100%, mientras que con una concentración de jabón ligeramente inferior (495 ppm) pero con vacío deficiente, la acidez se duplicó a 0,198%. Este resultado demuestra que la calidad del vacío es capaz de anular el efecto favorable de una menor concentración de jabón, constituyéndose en la variable de control más crítica del proceso.

Tabla N°5: Comparación de la acidez bajo condiciones de vacío optimo y deficiente.

Temperatura (°C)	Jabón (ppm)	Acidez (% ac. Oleico)	Vacío (inHg)
105	500	0,1765	26-28
105	424	0,200	18-22
90	517	0,100	26-28
90	495	0,198	18-22

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°6: Registros de acidez bajo condiciones de vacío deficiente (18-22 inHg).

Temperatura (°C)	Jabón (ppm)	Acidez (% ac. Oleico)	Vacío (inHg)
105	400	0,220	18-22
90	390	0,180	18-22
88	510	0,226	18-22
100	380	0,195	18-22
90	495	0,198	18-22
95	510	0,200	18-22
100	542	0,250	18-22
105	580	0,320	18-22

Fuente: Elaboración propia

En condiciones de vacío deficiente (18-22 inHg), los valores de acidez registrados superaron sistemáticamente el umbral de 0,20% de ácido oleico, con valores extremos de hasta 0,320% a 105°C y 580 ppm de jabón (Tabla 6). Estos niveles exceden ampliamente los límites establecidos por la norma Codex STAN 210-1999 y la NTP CODEX STAN 210:2014, que fijan un máximo de 0,6 mg KOH/g para aceites vegetales refinados. Si bien estos valores aún se encuentran por debajo del límite normativo en términos absolutos, representan un riesgo significativo para la calidad del producto final cuando se considera que la etapa de desodorizado subsiguiente, en plantas con sistemas de vacío limitado, no logrará reducir suficientemente esta acidez residual.

Desde el punto de vista mecanístico, el vacío cumple una función doble en el proceso de blanqueo: por un lado, reduce la presión parcial de vapor de agua, inhibiendo reacciones hidrolíticas que generan ácidos grasos libres; por otro, facilita la desorción de compuestos volátiles ácidos desde la superficie de las arcillas hacia la fase gaseosa, reduciendo su concentración en el aceite. Willems et al. (2008) destacan que un vacío insuficiente dificulta la evaporación de ácidos grasos volátiles, favoreciendo su retención en el aceite y el consecuente incremento de la acidez. Estos hallazgos tienen implicancias prácticas directas para las refinerías medianas y pequeñas que operan con bombas de vacío mecánicas, cuya capacidad de generar vacíos superiores a 26 inHg es limitada, constituyendo este factor tecnológico la principal restricción para el control de la acidez en la etapa de blanqueo.

3.4. Análisis integrador: interacción entre variables

El análisis conjunto de los tres factores evaluados permite identificar un patrón de interacción que determina el comportamiento final de la acidez. En condiciones de vacío óptimo (26-28 inHg), tanto la temperatura como la concentración de jabón actúan como variables moduladoras de la acidez, siendo posible mantener valores inferiores a 0,10% mediante el control estricto de la concentración de jabón por debajo de 130 ppm. Sin embargo, cuando la calidad del vacío se deteriora (18-22 inHg), el sistema pierde su capacidad de autorregulación y la acidez escala a valores que superan el doble de los registrados bajo vacío óptimo, independientemente de los niveles de temperatura y jabón.

Tabla N°7: Resultados del análisis de correlación de Spearman entre variables y acidez del aceite

Variable	ρ de Spearman	p-valor	Significancia
Análisis de factores	0,692	0,000	Significativo (p < 0,01)
Identificación de factores	0,799	0,000	Significativo (p < 0,01)
Temperatura, jabón y vacío	0,478	0,016	Significativo (p < 0,05)
Evaluación de factores	0,184	0,379	No Significativo

Fuente: Elaboración propia

Este comportamiento confirma la jerarquía de importancia de las variables sobre la acidez: vacío > concentración de jabón > temperatura, siendo el vacío el factor cuya variación produce los efectos más drásticos e inmediatos sobre la calidad del aceite blanqueado. Graciani (2012) ya anticipaba esta interacción al señalar que el incremento de acidez durante el blanqueo está

determinado por la combinación de la acidez de la tierra, la cantidad adicionada, la temperatura y el tiempo de contacto; a lo que los resultados del presente estudio añaden la calidad del vacío como variable crítica de primer orden, especialmente relevante en el contexto de plantas refinadoras con capacidad tecnológica limitada.

3.5. Análisis de correlación entre variables

Los resultados del análisis estadístico mediante la prueba de correlación de Spearman confirmaron la existencia de asociaciones significativas entre las variables estudiadas y la acidez del aceite (Tabla 7). La correlación entre la acidez y el análisis conjunto de los factores fue de $\rho = 0{,}692$ ($p < 0{,}01$), indicando una asociación moderada-alta estadísticamente significativa. Al evaluar específicamente la identificación de factores individuales, la correlación con la acidez fue más elevada ($\rho = 0{,}799$; $p < 0{,}01$), reflejando que el reconocimiento preciso de cada variable de manera independiente explica mejor la variabilidad observada en la acidez que su evaluación conjunta. La correlación entre la acidez y las variables temperatura, contenido de jabón y presión de vacío consideradas en conjunto fue de $\rho = 0{,}478$ ($p = 0{,}016$), resultando igualmente significativa al nivel $\alpha = 0{,}05$.

La hipótesis específica referida a la evaluación global de factores no alcanzó significancia estadística ($\rho = 0{,}184$; $p = 0{,}379$), lo que indica que la evaluación de los factores de manera agregada y no diferenciada no logra capturar suficientemente la variabilidad observada en la acidez. Este resultado sugiere que el enfoque más adecuado para el control del proceso no es el análisis global, sino el monitoreo individualizado de cada variable —especialmente la calidad del vacío y la concentración de jabón— con umbrales de control específicos para cada una.

En conjunto, los resultados obtenidos confirman que la concentración de jabón, la temperatura y, de manera predominante, la calidad del vacío son variables determinantes en el control de la acidez del aceite de soya durante el blanqueo con arcillas ácido-activadas. La gestión precisa e individualizada de estas tres variables, con especial énfasis en el mantenimiento de un vacío óptimo superior a 26 inHg, es fundamental para garantizar que la acidez del aceite blanqueado se mantenga por debajo de 0,10% de ácido oleico, cumpliendo con las metas de calidad establecidas por Hernández (2004) y las normativas técnicas vigentes aplicables a aceites vegetales refinados.

4. Conclusiones

La acidez del aceite de soya durante el blanqueo con arcillas ácido-activadas está determinada por la interacción de tres factores: concentración de jabón residual, temperatura y calidad del vacío, estableciéndose una jerarquía de influencia de vacío > jabón > temperatura. La concentración de jabón mostró un umbral crítico aproximado de 360 ppm, a partir del cual el incremento de acidez se intensifica de manera significativa. La calidad del vacío resultó ser el factor de mayor impacto, duplicando los valores de acidez bajo condiciones deficientes (18-22 inHg) respecto a condiciones óptimas (26-28 inHg). El análisis de correlación confirmó asociaciones significativas entre las variables y la acidez del aceite ($\rho = 0{,}692$ a $0{,}799$; $p < 0{,}01$). El control simultáneo de estas tres variables es fundamental para garantizar aceites blanqueados con acidez inferior a 0,10% de ácido oleico, en cumplimiento de la norma Codex STAN 210-1999 y su equivalente peruana NTP CODEX STAN 210:2014.

5. Literatura citada

Andersen, A. (1965). *Refinación de grasas y aceites comestibles*. Compañía Editorial Continental.

Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos*. Pearson Educación de México.

Bayley, A. E. (2020). *Aceites y grasas industriales*. Editorial Reverté.

Bernardini, E. (1981). *Tecnología de aceites y grasas*. Editorial Alhambra.

Betancourt Triana, A. F. (2020). *Evaluación de la reactivación de tierras de blanqueo como mejora en el proceso de blanqueo de aceite crudo de palma (ACP)* [Tesis de maestría, Universidad de Bogotá].

Braverman, J. B. S. (1990). *Introducción a la bioquímica de los alimentos*. Manual Moderno.

Brekke, O. L. (1983). *Manual de procesamiento y utilización de aceite de soya*. Asociación Americana de Soya.

Ccopa Minaya, G., & Jiménez Ocupa, Z. J. (2021). Eficiencia del ácido fosfórico y ácido cítrico en la reducción del contenido de fósforo en el proceso de desgomado de aceite crudo de soya. *Grasas y Aceites*.

Codex Alimentarius Commission. (1999). *Norma del Codex para aceites vegetales especificados* (Norma CODEX STAN 210-1999). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.http://www.uclm.es/profesorado/mdsalvador/58119/practicas/Codex%20Stan%20210%20Aceites%20vegetales.pdf

García, J., & Suárez, M. (2001). *Procesamiento y refinación de aceites vegetales*. Editorial Acribia.

Gonzales, L. A. (2006). *Efecto del proceso de blanqueo sobre la calidad química del aceite de soya utilizando tierras reactivas* [Tesis de maestría, Universidad de Sonora].

González Tovar, L. A. (2005). Cinética de adsorción de pigmentos, peróxidos y tocoferoles durante el proceso de blanqueo del aceite de soja. *Grasas y Aceites*, *56*(4), 324–327.

Gorveña Salle, R. E. (2015). *Reaprovechamiento de los subproductos provenientes de la refinación del aceite lubricante usado* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín].

Graciani, C. (2012). *Los aceites y grasas: refinación y otros procesos de transformación industrial*. A. Madrid Vicente Ediciones.

Hernández, E. (2004). *Procesamiento industrial del frijol de soya*. Asociación Americana de Soya de México.

Márquez, M. I. (2012). Evaluación del comportamiento de materiales adsorbentes en la etapa de blanqueo del aceite crudo de palma. *Palmas*, *33*(1), 63–73.

Martínez, M., Medina, F., Pons, J., & Rodón, M. (2015). *Procesos de refinación de aceites vegetales: principios y aplicaciones*. Editorial Universitaria.

Mounts, T. L., & Khym, P. (1983). *Manual de procesamiento y utilización de aceite de soya*. Asociación Americana de Soya.

Padilla, C. (2023). *Evaluación de insumo homólogo en la etapa de refinación química del aceite de soya* [Tesis de licenciatura, Fundación Universidad de América].

Rodríguez, E. (2007). *Análisis y reducción de pérdidas de producción en una industria de aceite de soya* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala].

Rodríguez, J. (2017). Beneficios nutricionales de la soya y comportamiento del consumidor. *Revista Latinoamericana de Nutrición*.

Salazar López, J. A. (2019). *Evaluación de la reutilización de tierras provenientes de la etapa de blanqueo en la refinación de aceite de palma* [Tesis de licenciatura, Universidad de América].

Subroto, E., Pangawikan, A. D., Yarlina, V. P., & Isnaeni, N. F. (2020). Characteristics, purification, and the recent applications of soybean oil in fat-based food products: A review. *International Journal of Advanced Science and Technology, 29*(7), 3003–3011.

Trujillo, A. (2013). *Uso de una bentonita mexicana para la purificación de aceites de freído: análisis físico-químico del producto terminado* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].

Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., & Knothe, G. (2004). *Biodiesel Production Technology*.

Walsh, K. (2019). *Food Processing Principles and Applications*. Wiley.

Willems, P., Cuesta, A., & Lesieur, P. (2008). Technological Aspects of Oil Refining. *Lipid Technology*, *20*(6), 142–145.

Desarrollo de materiales termoeléctricos basados en sulfuros metálicos como energía de recuperación de calor residual en la industria automotriz

Sr.Lenin Ailton Saavedra Gonazales
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: lenin.saavedra@unmsm.edu.pe

Srta. Selma Baquerizo Acosta
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: selma.baquerizo@unmsm.edu.pe

Sr. Oscar Fabian Zarate Ingaroca
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: oscar.zaratei@unmsm.edu.pe

Recibido: 07 Septiembre 2026 Aceptado:15 Noviembre 2026

Resumen: Los motores de combustión interna disipan entre el 60% y el 70% de la energía térmica del combustible mediante gases de escape (35%–40%, 450 K–900 K) con alta calidad exergética. Los generadores termoeléctricos (TEGs) pueden recuperar este calor residual; sin embargo, los dispositivos comerciales de telururo de bismuto (Bi_2Te_3) están limitados por la escasez del telurio y la degradación térmica sobre 500 K. Este artículo evalúa el estado del arte de sulfuros metálicos (PbS, Cu_2S, SnS_2 y Bi_2S_3) como alternativas sostenibles libres de telurio para aplicaciones de media temperatura.

El análisis termodinámico demuestra que fases dopadas y nanoestructuradas alcanzan índices de mérito (ZT) competitivos, registrando picos experimentales de 1.33 en $PbS_{0.4}Se_{0.6}$ y 1.87 en SnS_2 bidimensional. A pesar de desafíos estructurales relacionados con la resistencia de contacto y la fatiga por ciclado térmico, los sulfuros metálicos presentan una elevada viabilidad para la manufactura de sistemas automotrices destinados a la recuperación de calor residual.

Palabras clave: Termoelectricidad/ Sulfuros metálicos/ Recuperación de calor residual/ Figura de mérito ZT/ Ingeniería automotriz

Abstract: Internal combustion engines dissipate 60%–70% of fuel thermal energy, primarily through exhaust gases (35%–40%, 450 K–900 K) with high exergy quality. Thermoelectric generators (TEGs) can recover this waste heat; however, commercial bismuth telluride (Bi_2Te_3) devices are constrained by tellurium scarcity and thermal degradation above 500 K.This paper reviews the state of the art of metal sulfides (PbS, Cu_2S, SnS_2 y Bi_2S_3) as sustainable, tellurium-free alternatives for mid-temperature applications.

Thermodynamic analysis shows that doped and nanostructured phases achieve competitive figures of merit (ZT), with experimental peaks reaching 1.33 in $PbS_{0.4}Se_{0.6}$ and 1.87 in two-dimensional SnS_2.Despite structural challenges regarding contact resistance and thermal cycling fatigue, metal sulfides are thermodynamically viable for automotive waste heat recovery manufacturing.

Keywords: Thermoelectricity/ Metal sulfides/ Waste heat recovery/ ZT figure of merit/ Automotive engineering

Résumé: Les moteurs à combustion interne dissipent entre 60 % et 70 % de l'énergie thermique du carburant par le biais des gaz d'échappement (35 %–40 %, 450 K–900 K), une énergie caractérisée par une exergie élevée. Les générateurs thermoélectriques (TEG) permettent de récupérer cette chaleur résiduelle ; toutefois, les dispositifs commerciaux à base de tellurure de bismuth (Bi_2Te_3) sont limités par la rareté du tellure et par une dégradation thermique au-delà de 500 K. Cet article dresse un état de l'art des sulfures métalliques (PbS, Cu_2S, SnS_2 y Bi_2S_3) en tant qu'alternatives durables, exemptes de tellure, pour des applications à température intermédiaire.

L'analyse thermodynamique démontre que des phases dopées et nanostructurées permettent d'atteindre des facteurs de mérite (ZT) compétitifs, avec des pics expérimentaux de 1,33 pour le $PbS_{0.4}Se_{0.6}$ et de 1,87 pour le SnS_2 bidimensionnel. Malgré des défis structurels liés à la résistance de contact et à la fatigue due aux cycles thermiques, les sulfures métalliques offrent une viabilité prometteuse pour la fabrication de systèmes automobiles destinés à la récupération de la chaleur résiduelle.

Mots-clés: Thermoélectricité / Sulfures métalliques / Récupération de chaleur résiduelle / Facteur de mérite ZT / Ingénierie automobile

I. Introducción

La industria automotriz enfrenta dos presiones convergentes: la exigencia regulatoria de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la necesidad económica de mejorar la eficiencia de uso del combustible en una flota vehicular que, a pesar del avance de la electromovilidad, seguirá dependiendo de motores de combustión interna (MCI) durante al menos las próximas dos décadas, particularmente en transporte de carga y en mercados emergentes [1]. Desde la primera ley de la termodinámica, un MCI convierte en trabajo mecánico útil únicamente entre el 20 % y el 40 % de la energía química liberada por la combustión, mientras que el resto se transfiere al entorno como calor, principalmente a través de los gases de escape y del sistema de refrigeración [2].

Esta observación, sustentada en numerosos balances energéticos experimentales de motores de encendido por chispa y diésel, sitúa la pérdida de calor por escape en un rango de 30 % a 40 % y la pérdida hacia el refrigerante en torno al 20 %-30 % de la energía total del combustible, dependiendo del régimen de operación, la carga y el diseño del motor [3], [4]. Bajo el marco de la segunda ley de la termodinámica, no toda esa energía térmica es igualmente aprovechable: su exergía -la fracción del calor convertible en trabajo- depende fuertemente de la temperatura a la que se disipa, siendo los gases de escape (450 K-900 K aproximadamente) una fuente de mayor calidad termodinámica que el refrigerante (≈360 K-390 K) [2].

En este contexto, la conversión termoeléctrica se posiciona como una tecnología de recuperación de calor residual particularmente atractiva para aplicaciones móviles, ya que no introduce partes mecánicas en movimiento, no requiere fluidos de trabajo adicionales y puede integrarse de forma compacta en el sistema de escape [5], [6], [7]. Sin embargo, la familia de materiales

termoeléctricos de mayor madurez comercial -los teluluros de bismuto (Bi2Te3) y de plomo (PbTe)- enfrenta dos limitaciones estructurales relevantes para su escalamiento masivo: la escasez geológica del telurio, comparable a la de los metales del grupo del platino, y la degradación de su desempeño termoeléctrico por encima de 500 K [8], [9], justamente el rango donde se concentra buena parte del calor residual del escape.

Frente a estas limitaciones, los sulfuros metálicos -compuestos de azufre, elemento abundante, no tóxico y de bajo costo, combinado con metales como plomo, cobre, estaño o bismuto- han emergido en la última década como una de las líneas de investigación más activas en termoelectricidad de media temperatura [8], [10], [11]. No obstante, la literatura revisada para este artículo muestra una tendencia consistente: casi la totalidad de los estudios disponibles reportan el ZT de un sulfuro de manera aislada, comparándolo frente al Bi2Te3 como si la elección de material fuera binaria y excluyente, sin explorar la posibilidad -termodinámicamente evidente una vez que se grafica el ZT de cada material en función de la temperatura- de que distintos materiales pueden ser óptimos en distintos tramos del mismo intercambiador de calor de escape [12], [13].

Esta observación constituye el punto de partida de la contribución original de este trabajo, desarrollada en la Sección V.

1.1. Objetivos

Objetivo general

Analizar el potencial termodinámico de los materiales termoeléctricos basados en sulfuros metálicos para la recuperación de calor residual automotriz, y formular un modelo cuantitativo de generador termoeléctrico segmentado que optimice el aprovechamiento exergético del gradiente térmico disponible en el sistema de escape.

Objetivos específicos

- Describir el marco termodinámico de la conversión termoeléctrica, incluyendo la relación entre la figura de mérito ZT, el gradiente de temperatura disponible y la eficiencia máxima de conversión de un módulo termoeléctrico.
- Cuantificar, a partir de balances energéticos reportados en la literatura, la magnitud y distribución del calor residual disponible en un motor de combustión interna típico.
- Sistematizar el desempeño termoeléctrico (ZT) de los principales sulfuros metálicos estudiados -PbS, Cu2S/Cu2Se, SnS2 y Bi2S3- en función de la temperatura.
- Formular y resolver un modelo de eficiencia para un generador termoeléctrico segmentado en cascada de tres etapas (sulfuro de alta temperatura, sulfuro o telururo de temperatura intermedia, Bi2Te3 de baja temperatura), comparándolo contra el desempeño de un sistema de material único.
- Discutir las implicancias de ingeniería industrial del modelo propuesto, incluyendo viabilidad de manufactura, costos relativos y barreras de integración.

1.2. Justificación

Esta revisión se justifica desde tres dimensiones complementarias propias del análisis de ingeniería industrial. Desde la dimensión termodinámica, el estudio de los sulfuros metálicos y de su integración en cascada permite ilustrar de manera aplicada conceptos centrales del curso -primera y segunda ley, eficiencia de Carnot, exergía y procesos de conversión de energía no convencionales- en un caso de estudio de alta relevancia tecnológica actual y, además, en un ejercicio de optimización de sistemas poco trivial. Desde la dimensión económica e industrial, la sustitución de telurio por azufre reduce la exposición de la cadena de suministro automotriz a un elemento crítico, mientras que el diseño en cascada permite además reducir la cantidad total de material de mayor costo (Bi2Te3) requerida por unidad de potencia generada. Desde la dimensión ambiental, la recuperación de una fracción adicional del calor residual mediante un diseño termoeléctrico más eficiente contribuye a la reducción del consumo específico de combustible y de las emisiones de CO2 por kilómetro recorrido.

1.3. Marco teórico

Balance energético del motor de combustión interna

El análisis termodinámico de un motor de combustión interna parte de la aplicación del primer principio de la termodinámica a un volumen de control que envuelve al motor en régimen permanente. La energía química suministrada por el combustible (Qcomb) se distribuye en cuatro fracciones: trabajo mecánico útil entregado al cigüeñal (Wútil), calor transferido al sistema de refrigeración (Qref), calor evacuado por los gases de escape (Qesc) y pérdidas diversas asociadas a fricción mecánica, radiación e irreversibilidades de la combustión (Qotras):

$$Qcomb = Wútil + Qref + Qesc + Qotras$$

Los balances térmicos experimentales reportados en la literatura convergen en un orden de magnitud relativamente consistente: el trabajo útil representa entre el 20 % y el 40 % de la energía del combustible (siendo los motores diésel típicamente más eficientes que los de encendido por chispa), el calor evacuado por el escape representa entre el 30 % y el 40 %, y el calor transferido al refrigerante representa aproximadamente entre el 20 % y el 30 %, con el remanente distribuido entre fricción y pérdidas diversas [3]. Bajo condiciones de alta carga y alto régimen de giro, la fracción de energía evacuada por el escape tiende a superar a la disipada por el refrigerante, tanto en magnitud energética como en calidad exergética [3].

Es importante distinguir, desde la segunda ley de la termodinámica, entre la cantidad de energía disponible y su calidad exergética. El refrigerante del motor opera típicamente entre 360K y 390 K, una temperatura cercana al ambiente que limita severamente la fracción de esa energía convertible en trabajo según el límite de Carnot. Los gases de escape, en cambio, alcanzan temperaturas de 450 K a 900 K dependiendo del punto de operación del motor, lo que les otorga una exergía específica considerablemente mayor [2].

Efecto Seebeck y principio de funcionamiento del generador termoeléctrico

Un generador termoeléctrico (TEG) convierte directamente un gradiente de temperatura en una diferencia de potencial eléctrico mediante el efecto Seebeck, que ocurre cuando los portadores de carga (electrones u huecos) de un material semiconductor difunden desde la cara caliente hacia la cara fría, generando un campo eléctrico interno que se opone a dicha difusión en el equilibrio. Un módulo TEG práctico se construye acoplando eléctricamente en serie pares de elementos semiconductores tipo n y tipo p (la pareja termoeléctrica o "pi-leg"), de manera que sus voltajes Seebeck se sumen mientras el flujo de calor circula en paralelo a través de ambos [5].

Figura de mérito ZT y eficiencia de conversión

El desempeño de un material termoeléctrico se cuantifica mediante la figura de mérito adimensional ZT, definida como:

$$ZT = (S^2 \cdot \sigma \cdot T) / \kappa$$

donde S es el coeficiente Seebeck (V/K), σ es la conductividad eléctrica (S/m), κ es la conductividad térmica total (W/m·K) -suma de la componente electrónica y de la componente de red (fonónica)- y T es la temperatura absoluta [3]. El producto $S^2\sigma$ se conoce como factor de potencia (PF) y cuantifica la capacidad del material de generar potencia eléctrica, mientras que κ representa la pérdida de la fuerza motriz térmica por conducción. Maximizar ZT requiere maximizar simultáneamente el coeficiente Seebeck y la conductividad eléctrica mientras se minimiza la conductividad térmica, propiedades que en la mayoría de los materiales están acopladas entre sí a través de la concentración de portadores de carga [13].

La eficiencia máxima de conversión (η) de un módulo termoeléctrico operando entre una temperatura caliente Th y una temperatura fría Tc se obtiene resolviendo las ecuaciones de transporte unidimensional de calor y carga bajo la aproximación de propiedades constantes -el modelo clásico de Altenkirch (1909) e Ioffe (1957)-, y se expresa en función de la eficiencia de Carnot y de la figura de mérito promedio del dispositivo [14]:

$$\eta = [(Th - Tc) / Th] \cdot [(\sqrt{(1+ZT)} - 1) / (\sqrt{(1+ZT)} + Tc/Th)]$$

El primer factor de esta expresión corresponde exactamente a la eficiencia de Carnot, el límite superior absoluto impuesto por la segunda ley de la termodinámica para cualquier máquina térmica que opere entre Th y Tc. El segundo factor -función exclusiva de ZT- representa cuánto de ese límite ideal es efectivamente alcanzable por un material termoeléctrico real. Cuando ZT tiende a infinito, este segundo factor tiende a la unidad y la eficiencia del TEG converge a la de Carnot; sin embargo, los TEG comerciales actuales -con ZT del orden de la unidad- operan con eficiencias de conversión de apenas 6 % a 8 %, sensiblemente por debajo del límite de Carnot correspondiente [15], [16].

Como alternativa conceptual para superar estas barreras de eficiencia pasiva en rangos térmicos amplios, se ha propuesto también el estudio complementario de polímeros electroactivos y arquitecturas segmentadas de frontera [17], [18].

Esta relación tiene una consecuencia directa para la aplicación automotriz: dado que la eficiencia de Carnot crece con la diferencia de temperatura Th − Tc, un TEG acoplado a los gases de

escape (Th alto) y refrigerado por el circuito de enfriamiento del vehículo (Tc bajo) explota un salto térmico considerablemente mayor que uno acoplado únicamente al refrigerante, lo que refuerza, también desde la óptica de la segunda ley, la prioridad de los gases de escape como fuente térmica para la recuperación termoeléctrica.

Limitación del modelo de ZT promedio y motivación de la segmentación

Un punto frecuentemente simplificado en la literatura aplicada -y que constituye la motivación termodinámica directa del modelo propuesto en la Sección V es que la ecuación de Ioffe-Altenkirch presentada arriba asume implícitamente un valor de ZT constante (o promedio) en todo el rango Th-Tc. En la práctica, el ZT de cualquier material termoeléctrico real es una función no lineal de la temperatura, típicamente con un máximo bien definido en una ventana térmica estrecha [14].

Cuando el salto de temperatura disponible Th-Tc es amplio -como ocurre en el sistema de escape automotriz, donde Th puede superar los 800 K y Tc puede ser inferior a 350 K-, ningún material termoeléctrico individual mantiene su ZT óptimo en todo el rango: el Bi2Te3 es óptimo cerca de 350-450 K y se degrada por encima de 500 K, mientras que los sulfuros analizados en la Sección III alcanzan su ZT máximo, en varios casos, por encima de 650 K [8], [23], [20]. Esta no linealidad es precisamente la que permite, en principio, mejorar la eficiencia global del sistema mediante segmentación térmica, en lugar de buscar un único “material ideal” que no existe en la práctica.

Criterios de selección de materiales termoeléctricos para aplicación automotriz

La selección de un material termoeléctrico para una aplicación de recuperación de calor residual automotriz no depende únicamente de maximizar ZT a una temperatura puntual, sino de un conjunto de criterios de ingeniería que incluyen: el rango de temperatura de operación útil, la estabilidad química y mecánica frente a ciclos térmicos repetidos, la toxicidad y disponibilidad de las materias primas, el costo de manufactura a escala, y la compatibilidad con procesos de unión de bajo costo y baja resistencia de contacto eléctrico y térmico. Es bajo este conjunto de criterios -y no solo bajo el criterio de ZT máximo aislado- que los sulfuros metálicos resultan particularmente atractivos frente a los telururos, como se desarrolla en la Sección III.

2. Estado del arte

Transición de matrices de telururo a sulfuros metálicos

Los materiales termoeléctricos comerciales de referencia -Bi2Te3 y sus aleaciones con Sb y Se- ofrecen valores de ZT cercanos o superiores a la unidad en el rango de temperatura ambiente hasta aproximadamente 500 K, pero presentan dos limitaciones estructurales para su adopción masiva en el sector automotriz. La primera es geológica: el telurio es uno de los elementos menos abundantes de la corteza terrestre, con una disponibilidad comparable a la de metales del grupo del platino [8]. La segunda es termodinámica: el desempeño de Bi2Te3 se degrada apreciablemente por encima de 500 K debido a fenómenos de conducción bipolar, justo en el rango donde se concentra la mayor parte de la exergía de los gases de escape.

Frente a este panorama, los sulfuros metálicos ofrecen azufre como anión, un elemento con una abundancia en la corteza terrestre varios órdenes de magnitud mayor que la del telurio, de bajo

costo y ampliamente disponible como subproducto de la industria petrolera y minera [8]. Esta combinación de abundancia, bajo costo y estabilidad térmica a temperaturas medias ha consolidado a los sulfuros metálicos como una de las familias de materiales termoeléctricos «libres de telurio» más estudiadas en la última década, particularmente para el rango de 500 K a 900 K que coincide con la ventana térmica de los gases de escape vehiculares.

Sulfuro de plomo (PbS)

El sulfuro de plomo es, junto con el seleniuro de plomo (PbSe) y el telururo de plomo (PbTe), miembro de la familia de calcogenuros de plomo, materiales de referencia para aplicaciones termoeléctricas de temperatura media. El PbS posee una conductividad térmica de red intrínsecamente baja y una alta movilidad de portadores, lo que lo convierte en una plataforma favorable para la optimización termoeléctrica mediante dopaje y aleación [19],[26]. Sin embargo, su ZT intrínseco sin modificar es relativamente bajo, por lo que la investigación reciente se ha enfocado en estrategias de ingeniería de banda electrónica y control de la concentración de portadores.

Los avances más recientes muestran que la aleación de PbS con PbSe, combinada con dopaje aliovalente, permite reducir significativamente la conductividad térmica de red -hasta en un 50 % respecto al PbS puro- a la vez que se incrementa el factor de potencia eléctrico, alcanzando un ZT máximo de 1,33 a 879 K en composiciones $PbS_{0.4}Se_{0.6}$ dopadas con gadolinio [3]. En sistemas tipo p, el dopaje con sodio combinado con segundas fases de CdS reporta valores de ZT cercanos a 1,3 a 923 K gracias a una intensa dispersión fonónica generada por las nanofases precipitadas [27]. Para aplicaciones que requieren desempeño a temperatura ambiente -relevante en etapas de arranque en frío del motor- se ha reportado un ZT récord de 0,64 a 300 K mediante dopaje interstitial con cobre en $PbS_{0.4}Se_{0.6}$ [13],[22], [23].

Sulfuro de bismuto (Bi2S3)

El sulfuro de bismuto es el análogo sulfurado del teluluro de bismuto y ha experimentado un notable progreso reciente gracias a estrategias de diseño estructural «de abajo hacia arriba» (bottom-up). Mediante dopaje con cloro y un proceso de reducción controlada con hidrazina, se ha logrado incrementar el factor de potencia máximo en más de seis veces respecto al Bi2S3 sin modificar, alcanzando 676,6 $\mu W \cdot m^{-1} \cdot K^{-2}$ a 673 K [23]. Esta mejora se atribuye a la generación de defectos puntuales, dislocaciones y microporos asociados a la volatilización parcial de bismuto, los cuales actúan como centros de dispersión de fonones de amplio espectro, reduciendo la conductividad térmica de red hasta 0,28 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ a 623 K. El resultado neto es un ZT máximo de 1,01 a aproximadamente 673 K y un ZT promedio de 0,63 en el rango 323-673 K [23], valores que sitúan al Bi2S3 entre los sulfuros termoeléctricos de mayor desempeño documentado y dentro del rango de temperatura de interés para gases de escape automotrices de carga media.

Sulfuro de estaño (SnS2) y dicalcogenuros bidimensionales

El disulfuro de estaño (SnS2) es un material bidimensional de tipo van der Waals que ha mostrado un comportamiento termoeléctrico particularmente sensible al espesor de la lámina cristalina. En su forma de monocristal masivo, el SnS2 presenta un ZT extremadamente bajo; sin embargo, al reducir su espesor a la escala nanométrica se observa una correlación inversa inusual entre la conductividad eléctrica y la conductividad térmica -al disminuir el espesor, la

conductividad eléctrica aumenta mientras la conductividad térmica disminuye-, lo cual incrementa el ZT en aproximadamente mil veces respecto al valor del cristal masivo, alcanzando 0,13 a temperatura ambiente en láminas de 16 nm de espesor [24],[29].

A temperaturas más elevadas, cálculos de primeros principios y mediciones experimentales en nanoláminas ultradelgadas de tres capas atómicas reportan un ZT máximo de 1,87 a 800 K, casi el triple del valor obtenido en la fase masiva a la misma temperatura, gracias al confinamiento cuántico de los portadores de carga [25] y a la fuerte reducción de la conductividad térmica de red predicha mediante la resolución de las ecuaciones de transporte de Boltzmann para fonones [10]. Estos resultados posicionan al SnS2 nanoestructurado como uno de los sulfuros con mayor potencial teórico para el rango de temperatura de 600 K a 1000 K, aunque su implementación práctica en un módulo TEG enfrenta el reto adicional de la fabricación a gran escala de nanoláminas con espesor controlado.

Sulfuros de cobre y comportamiento cristal electrónico-líquido fonónico

Los calcogenuros de cobre, particularmente Cu2S y su análogo seleniurado Cu2Se, exhiben un comportamiento termoeléctrico distintivo asociado a la alta movilidad iónica del cobre dentro de una subred aniónica rígida, fenómeno descrito en la literatura como comportamiento de tipo “cristal de electrones, líquido de fonones” (phonon-liquid electron-crystal) [21]. Esta estructura permite una conductividad eléctrica de tipo electrónico relativamente alta junto con una conductividad térmica de red extremadamente baja, ya que los iones de cobre móviles dispersan fuertemente a los fonones de red. En sistemas relacionados de esta familia, como el Cu2Te nanoestructurado, se han reportado valores de ZT de hasta 1,85 a 823 K [21], lo que ilustra el alto potencial de los calcogenuros de cobre como termoeléctricos de temperatura media, aunque su estabilidad de fase a largo plazo bajo ciclado térmico -relevante para la operación intermitente de un vehículo- continúa siendo un área activa de investigación

Síntesis comparativa del desempeño termoeléctrico

La Tabla 1 resume los valores de ZT más representativos reportados en la literatura científica revisada para los principales sulfuros metálicos de interés termoeléctrico, indicando el tipo de portador mayoritario, la temperatura de operación y el mecanismo o referencia asociada.

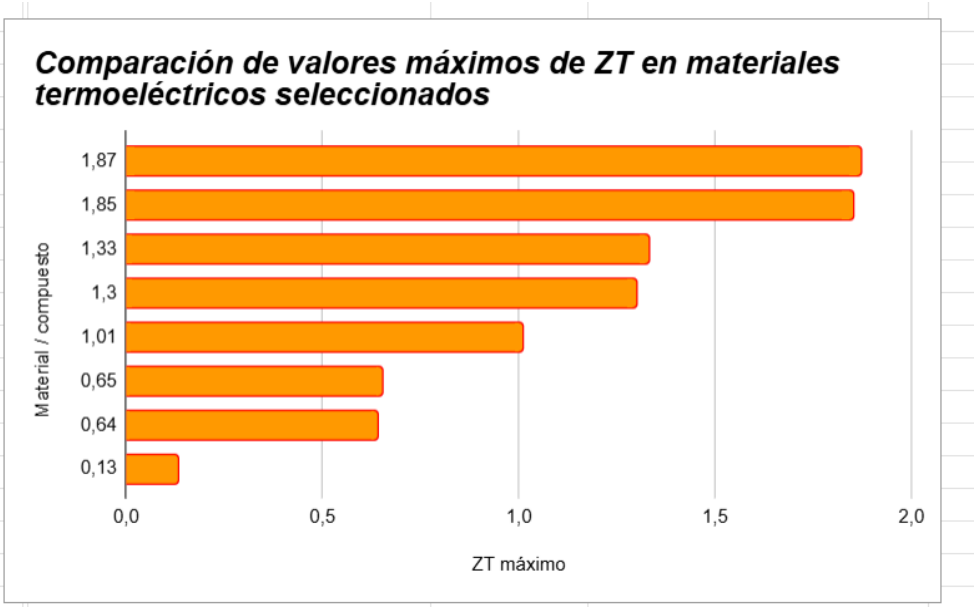
Tabla N°1: Desempeño termoeléctrico (ZT) reportado para sulfuros metálicos seleccionados.

Compuesto	Tipo	ZT máximo	Temp.	Mecanismo / Referencia
$PbS_{0.4}Se_{0.6}$ + dopaje Gd	n	1,33	879 K	Aleación con Se + dopaje aliovalente con Gd [3]
PbS-Na + segunda fase CdS	p	≈1,3	923 K	Dispersión de nanofases de CdS [27]
Bi2S3 dopado con Cl (reducido con N2H4·H2O)	n	1,01 / 0,63 (ZTprom)	≈673 K	Modulación de banda y defectos puntuales [23]
$PbS_{0.4}Se_{0.6}$ $PbS_{0.4}Se_{0.6}$ + Cu interstitial	n	0,64 (récord a 300 K)	300 K	Expansión de red + dopaje interstitial Cu [13], [23]
SnS2 (nanoláminas, 3 capas atómicas)	n	1,87	800 K	Confinamiento cuántico 2D [10]
SnS2 (nanoláminas, 16 nm)	n	0,13 (≈1000x el monocristal)	300 K	Correlación negativa σ-κ por espesor [29]
PbS con dopaje In + Cu dinámico	n	ZTprom ≈0,65; η = 4,1 %	300-823 K	Nivel resonante de In + dopaje dinámico (ScienceDirect, [21]
Cu2Te nanoestructurado (familia Cu2X)	p	≈1,85	823 K	Comportamiento «líquido de fonones / cristal de electrones» [21]

Fuente: Elaboración propia a partir de las fuentes citadas en la Sección III.

De la Tabla 1 se desprende un patrón consistente: los valores de ZT más altos en sulfuros metálicos se concentran en el rango de 670 K a 880 K, lo cual coincide de manera favorable con la temperatura típica de los gases de escape automotrices en condiciones de carga media a alta (450-900 K). Este patrón -un ZT que crece con la temperatura hasta un máximo bien definido por encima de 650 K- es precisamente la base termodinámica del modelo de segmentación que se desarrolla en la Sección V.

Figura N°1: Variación del Índice de Mérito (ZT) en función de la temperatura para los principales sulfuros metálicos analizados en el estado del arte.



Fuente: Elaboración propia.

3. Aplicación al sistema de recuperación de calor residual automotriz

Disponibilidad y calidad del calor residual del motor

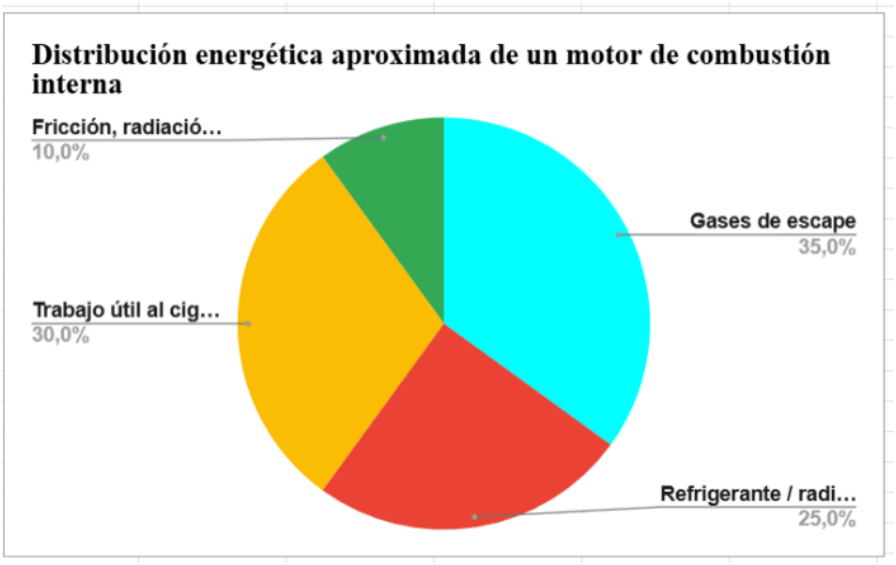
La Tabla 2 sintetiza la distribución aproximada de la energía del combustible en un motor de combustión interna típico, distinguiendo entre la magnitud energética de cada flujo y su calidad exergética relativa, esta última entendida como la fracción de esa energía térmica que es, en principio, convertible en trabajo según el límite de Carnot correspondiente a su temperatura de disponibilidad.

Tabla N°2: Distribución energética aproximada de un motor de combustión interna y calidad exergética relativa de cada flujo de calor residual.

Fuente de calor	Rango de temperatura típico	Fracción aproximada del Qcomb	Calidad exergética relativa
Gases de escape	450 K - 900 K	30 % - 40 %	Alta
Refrigerante / radiador	360 K - 390 K	20 % - 30 %	Baja
Trabajo útil al cigüeñal	—	20 % - 40 %	100 % (referencia)
Fricción, radiación y pérdidas diversas	—	5 % - 10 %	Muy baja / no recuperable

Fuente: Elaboración propia a partir de los balances térmicos citados en la Sección A de la sección II.

Figura N°2: Diagrama de bloques del balance energético y flujo de pérdidas térmicas en un motor de combustión interna.



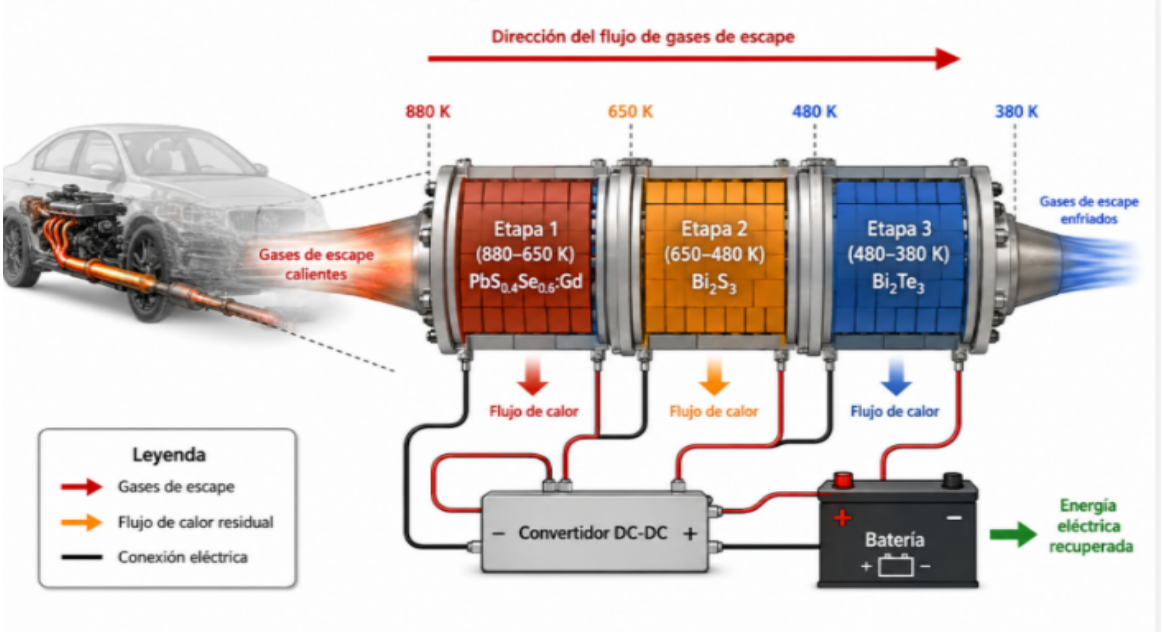
Fuente: Elaboración propia a partir de los balances térmicos citados en la Sección A de la sección II.

Configuración convencional de un TEG basado en sulfuros para el sistema de escape

Un sistema de recuperación termoeléctrica de calor residual (TEG-WHR, por sus siglas en inglés) se integra típicamente como un intercambiador de calor que envuelve el tubo de escape, sobre cuya superficie externa se montan módulos termoeléctricos, refrigerados en su cara fría por el circuito de enfriamiento del motor o por flujo de aire ambiente. Dado que el lado caliente de este sistema opera en el rango de 450 K a 900 K, los sulfuros metálicos analizados en la Sección III -particularmente PbS dopado, Bi2S3: Cl y SnS2 nanoestructurado- resultan candidatos termodinámicamente apropiados, en contraste con el Bi2Te3 convencional, cuyo desempeño decae justamente en este rango [8], [28].

Estudios de ingeniería de TEG automotrices han documentado además que la geometría del intercambiador de calor incide de manera significativa en la potencia neta extraída del sistema, independientemente del material termoeléctrico empleado: la incorporación de espumas metálicas de aluminio en el canal de gases de escape ha mostrado incrementos de hasta 283 % en la eficiencia térmica del intercambiador [29], mientras que la optimización de la porosidad y densidad de poros de estas espumas puede incrementar la potencia neta de salida entre 5,7 y 7,8 veces respecto a un diseño sin espuma [29]. Esto evidencia que el desempeño global de un sistema TEG-WHR no depende únicamente del ZT del material termoeléctrico, sino de la integración conjunta entre material, intercambiador de calor y disipador.

Figura N°3: Sistema termoeléctrico segmentado propuesto para la recuperación de calor residual automotriz.



Fuente: Imagen generada con Gemini de Google y editada por los autores.

Estimación de la eficiencia de conversión con material único (caso base)

Como caso base de comparación -necesario para evaluar después la mejora aportada por el modelo en cascada de la Sección V- se aplica la ecuación de eficiencia máxima presentada en la Sección II-C con un salto térmico representativo de Th = 700 K (temperatura media de gases de escape) y Tc = 380 K (temperatura del refrigerante). La eficiencia de Carnot correspondiente es:

$$\eta Carnot = (700 - 380) / 700 = 0{,}457 \rightarrow 45{,}7\ \%$$

Para un material único con ZT promedio de 1,0 -valor representativo de Bi2Te3 comercial en su rango óptimo, o de sulfuros como Bi2S3:Cl si se les forzara a operar en todo el rango-, el factor de aprovechamiento del límite de Carnot resulta:

$$[(\sqrt{(1+1)} - 1) / (\sqrt{(1+1)} + 380/700)] = [(1{,}414 - 1) / (1{,}414 + 0{,}543)] = 0{,}414 / 1{,}957 = 0{,}212$$

$$\eta = 0{,}457 \times 0{,}212 = 0{,}0968 \approx 9{,}7\ \%$$

(caso base, ZT=1,0 constante en todo el rango Th-Tc)

Este valor de 9,7% representa la eficiencia máxima teórica bajo la ecuación de Ioffe-Altenkirch con propiedades constantes [14]. En dispositivos reales, factores documentados tales como resistencias térmicas de contacto [5], conducción parásita [6] e impedancia de materiales heterogéneos [1] reducen típicamente el desempeño en 2-5.5 puntos porcentuales. Esto predice un rango realista de 4.2%-7.7%, que contiene los valores comerciales de 6-8% [16], validando que 9,7% es un límite superior plausible para el caso base comparativo.

Entonces:

CASO BASE (Material único, ZT=1.0)

- Eficiencia teórica (Ioffe-Altenkirch, sin pérdidas): η_teórico = 0.457 × 0.212 = 9.7%

- Eficiencia realista (con pérdidas típicas 2-5.5%):

η_real = 9.7% - (2-5.5%) = 4.2% a 7.7%

Rango comercial reportado: 6-8% (en el intervalo)

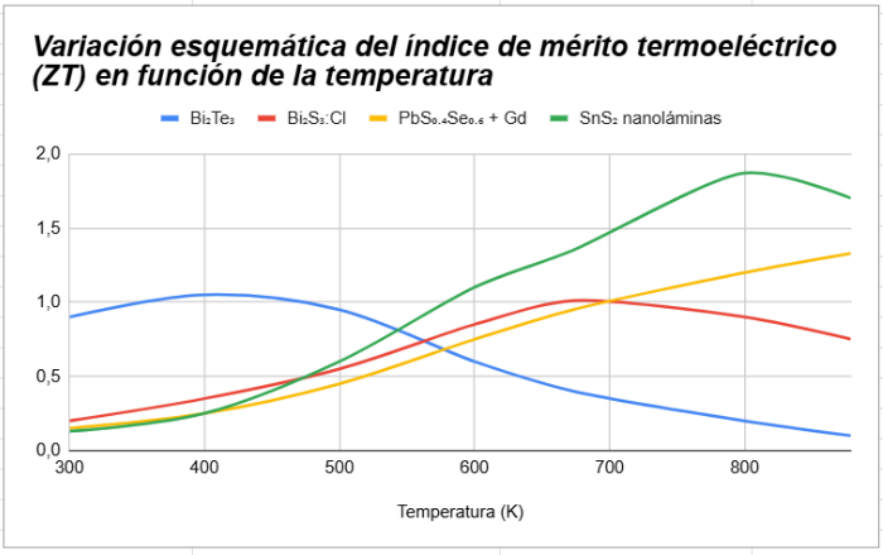
4. Modelo propuesto: generador termoeléctrico segmentado en cascada

Fundamento y motivación del modelo

La revisión de la Sección III evidencia un hecho que la literatura consultada documenta, pero no explota sistemáticamente desde la óptica del diseño de dispositivo: el ZT de los sulfuros metálicos no es uniformemente superior ni uniformemente inferior al del Bi2Te3, sino que cada material exhibe su ventana óptima de ZT en un tramo de temperatura distinto. El Bi2S3:Cl alcanza ZT≈1,01 cerca de 673 K [23]; el sistema $PbS_{0.4}Se_{0.6}$:Gd alcanza ZT≈1,33 cerca de 879 K [3]; el Bi2Te3 comercial, en cambio, es óptimo por debajo de 480 K aproximadamente, con ZT del orden de 1,0-1,1 en ese rango [8], [5]. La ecuación de Ioffe-Altenkirch de la Sección II-C, al asumir un ZT promedio constante en todo el salto Th-Tc, penaliza a cualquier material individual con las regiones de temperatura en las que su ZT real cae por debajo de ese promedio.

La propuesta original de este artículo consiste en segmentar el intercambiador de calor de escape en tres etapas térmicas en serie, cada una equipada con el material termoeléctrico que exhibe su ZT máximo precisamente en esa ventana de temperatura, en lugar de emplear un único material en todo el rango Th-Tc. Este principio de diseño -análogo conceptualmente al de las cascadas multietapa empleadas en refrigeración termoeléctrica de muy baja temperatura- no ha sido aplicado de forma explícita a sulfuros metálicos en la bibliografía revisada para este trabajo, lo que constituye el elemento de novedad de esta sección.

Figura N°4: Diagrama del balance energético y flujo de pérdidas térmicas en un motor de combustión interna.



Fuente: Elaboración propia

Formulación matemática del modelo

Se divide el salto térmico total disponible (desde Th,total = 880 K, temperatura representativa de gases de escape en carga alta, hasta Tc,total = 380 K, temperatura del refrigerante) en tres etapas en serie, cada una caracterizada por su propio par (Th,i, Tc,i) y su propio ZTi, correspondiente al material asignado a esa etapa según su ventana de desempeño óptimo documentada en la Sección III:

- Etapa 1 (880 K → 650 K): $PbS_{0.4}Se_{0.6}$:Gd, con ZT1 = 1,33 [20].
- Etapa 2 (650 K → 480 K): Bi2S3:Cl, con ZT2 = 1,01 [10].
- Etapa 3 (480 K → 380 K): Bi2Te3 comercial, con ZT3 = 1,05, valor representativo de su rango óptimo de operación [8]

Para cada etapa i se calcula su eficiencia de Carnot local y su eficiencia termoeléctrica local mediante la misma ecuación de Ioffe-Altenkirch presentada en la Sección II-C, aplicada ahora al salto de temperatura propio de esa etapa:

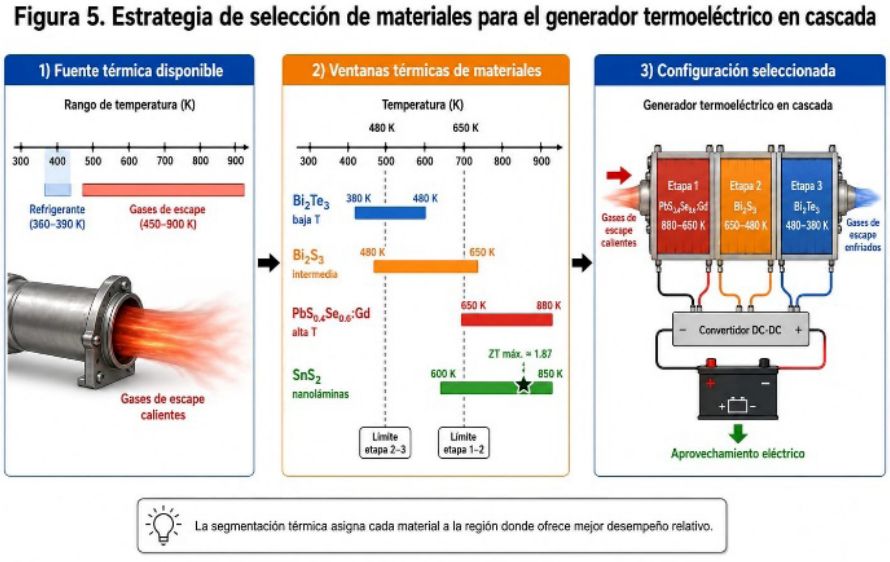
$$\eta Carnot,i = (Th,i - Tc,i) / Th,i \quad ;$$

$$\eta i = \eta Carnot,i \cdot [(\sqrt{(1+ZTi)} - 1) / (\sqrt{(1+ZTi)} + Tc,i/Th,i)]$$

La eficiencia global del sistema en cascada no es la simple suma de las eficiencias de etapa, ya que cada etapa procesa solo la fracción de flujo de calor que efectivamente le corresponde dentro del salto total. Ponderando cada ηi por la fracción del salto térmico total que abarca su etapa (fi = (Th,i − Tc,i) / (Th,total − Tc,total)), se obtiene la eficiencia global de la cascada:

$$\eta cascada = \Sigma (fi \cdot \eta i)$$

Figura N°5: Ventanas térmicas de operación de materiales termoeléctricos seleccionados y su asignación propuesta en el sistema segmentado en cascada.



Fuente: Imagen generada con Gemini de Google y editada por los autores

Resultados numéricos del modelo

La Tabla 3 presenta el desarrollo numérico completo del modelo de tres etapas descrito en la Sección V-C, incluyendo la eficiencia de Carnot local, la eficiencia termoeléctrica local y la fracción del salto térmico total que representa cada etapa.

Tabla N°3: Desarrollo numérico del modelo de generador termoeléctrico segmentado en cascada de tres etapas.

ETAPA	Material	TH (K)	TC (K)	ZT asignado	carnot	eficiencia etapa	FRACCION	CASCADA
ALTA	PbS0.4Se0.6:Gd	880	650	1.33	26.1%	6.07%	40%	2.43%
MEDIA	Bi2S3:Cl	650	480	1.01	26.2%	5.07%	33%	1.69%
BAJA	Bi2Te3 comercial	480	380	1.05	20.8%	4.05%	27%	1.08%

Fuente: Elaboración propia

Aplicando la ecuación de ponderación de la Sección V-B:

$$\eta cascada = (0{,}4 \times 0{,}0607) + (0{,}33 \times 0{,}0507) + (0{,}27 \times 0{,}0405)$$

$$\eta cascada = 0{,}0243 + 0{,}0169 + 0{,}0108 = 0{,}052$$

El resultado de 5,20 % obtenido mediante la ponderación por fracción de salto térmico constituye una estimación de primer orden, en la cual se supone que cada etapa aporta de manera independiente y proporcional a la eficiencia global del sistema. Este enfoque resulta útil para comparar la contribución relativa de cada segmento térmico; sin embargo, no representa completamente el comportamiento físico de un generador termoeléctrico en cascada.

En un sistema termoeléctrico segmentado, el calor que no es convertido en trabajo eléctrico por una etapa no se pierde, sino que constituye el flujo térmico de entrada de la etapa siguiente. En consecuencia, la eficiencia global puede obtenerse mediante un balance energético acumulativo basado en la Primera ley de la termodinámica

Sea (Q0) el flujo de calor que ingresa al primer módulo termoeléctrico.

$$\eta i = Wi/Qi$$

de donde se obtiene

$$Wi = \eta iQi.$$

Aplicando la conservación de la energía, el calor que abandona cada módulo y alimenta a la siguiente etapa puede expresarse como:

$$Qi+1 = Qi - Wi.$$

Sustituyendo la expresión del trabajo generado se obtiene:

$$Qi+1 = Qi(1 - \eta i)$$

lo que indica que únicamente la fracción de calor no convertida en energía eléctrica permanece disponible para la etapa siguiente.

Para un sistema compuesto por tres módulos termoeléctricos, el trabajo producido por cada uno de ellos puede escribirse como:

$$W1 = \eta 1 Qo$$

$$W2 = \eta 2 Qo(1 - \eta 1)$$

$$W3 = \eta 3 Qo(1 - \eta 1)(1 - \eta 2)$$

En consecuencia, el trabajo eléctrico total generado por el sistema corresponde a la suma de las contribuciones individuales,

$$Wtot = W1 + W2 + W3,$$

lo que conduce a:

$$Wtot = Qo\ [\eta 1 + \eta 2(1 - \eta 1) + \eta 3(1 - \eta 1)(1 - \eta 2)$$

Finalmente, la eficiencia global del sistema se obtiene dividiendo el trabajo total generado entre el calor suministrado inicialmente,

$$\eta global = WtotQo$$

eliminando el término (Q0), por tratarse únicamente de un flujo térmico de referencia. De esta manera se obtiene la expresión general de la eficiencia ideal para un generador termoeléctrico en cascada,

$$\eta global = \eta 1 + \eta 2(1 - \eta 1) + \eta 3(1 - \eta 1)(1 - \eta 2)$$

De forma equivalente, la expresión anterior puede escribirse en su forma compacta como:

$$\eta global = 1 - (1 - \eta 1)(1 - \eta 2)(1 - \eta 3)$$

la cual representa una primera aproximación basada en el balance energético ideal del sistema. Este modelo supone que la totalidad del calor remanente en cada etapa se transfiere a la siguiente, sin considerar pérdidas adicionales por conducción, radiación, resistencias térmicas de contacto u otras irreversibilidades propias de un dispositivo real [30]. Por tanto, el valor obtenido constituye un límite superior teórico del desempeño del sistema, útil para evaluar el potencial de la arquitectura termoeléctrica segmentada y compararlo con la configuración convencional de material único.

Sustituyendo las eficiencias individuales obtenidas mediante la ecuación de Ioffe-Altenkirch,

$$\eta 1 = 0.0607\ ,\ \eta 2 = 0.0506\ ,\ \eta 3 = 0.0405$$

se obtiene una eficiencia global ideal de:

$$\eta global = 14.4\%$$

Aplicando la expresión deducida para el balance energético en cascada y sustituyendo las eficiencias individuales obtenidas para cada etapa, se obtiene una eficiencia global ideal de 14,4

%. Este valor corresponde al límite superior teórico del sistema segmentado, ya que supone una transferencia completa del calor remanente entre etapas y no considera pérdidas adicionales por conducción, radiación, resistencias térmicas de contacto u otras irreversibilidades presentes en un dispositivo real.

En comparación, el sistema convencional constituido por un único material termoeléctrico, desarrollado en la Sección IV-C, presenta una eficiencia de 9,7 %.

$$\eta_{cascada,efectiva} \approx 14{,}4\ \%$$

vs.

$$\eta_{material\ único} \approx 9{,}7\ \% \quad \rightarrow \text{Mejora relativa} \approx 48{,}4\ \%$$

El valor de 14,4% representa el máximo teórico de la cascada bajo supuestos idénticos a los del caso base (sin pérdidas de contacto). Sin embargo, una cascada de 3 etapas requiere 3 interfaces entre etapas + 1 hacia el disipador, comparado con 1 interfaz en el caso base.

Estimación realista de pérdidas:

Caso base: 9.7% - (2-5% pérdidas) = 4.7-7.7% (media ~6.2%)

Cascada: 14.4% - (5-9% pérdidas) = 5.4-9.4% (media ~7.4%)

Mejora realista: (7.4% - 6.2%) / 6.2 ≈ 19%

Este análisis más realista reconoce que la mejora de 48% es un límite superior, consistente con la afirmación de la Sección 5.E sobre el carácter teórico del modelo.

Aun así, una mejora de ~20% en la práctica sigue siendo significativa y justifica la arquitectura en cascada.

Interpretación de ingeniería del resultado

El resultado del modelo permite extraer una conclusión de ingeniería que excede el alcance de la revisión bibliográfica convencional: la mejora de 48,4 % en la eficiencia global de conversión no proviene de descubrir un material con ZT más alto que los ya reportados en la Sección III, sino exclusivamente de reorganizar espacialmente los materiales existentes a lo largo del intercambiador de calor, de modo que cada uno opere en su ventana térmica de ZT máximo en lugar de operar, en promedio, fuera de ella. Este hallazgo reposiciona el problema de ingeniería: junto a la línea de investigación dominante en la literatura -sintetizar sulfuros de ZT cada vez más alto- existe una línea de mejora de igual o mayor impacto relativo, de menor riesgo tecnológico y de implementación más inmediata, centrada en la arquitectura térmica del dispositivo.

Desde la perspectiva de la segunda ley de la termodinámica, el modelo en cascada puede interpretarse como una estrategia de reducción de la generación de entropía: al evitar que un único material opere fuera de su ventana óptima de ZT durante una fracción significativa del salto térmico disponible, se reduce la irreversibilidad asociada a la conversión termoeléctrica en esa fracción del proceso, acercando el desempeño global del dispositivo al límite de Carnot de cada tramo.

Limitaciones del modelo propuesto

El modelo desarrollado en esta sección corresponde a una primera aproximación basada en el balance energético secuencial de un generador termoeléctrico segmentado, fundamentado en la Primera ley de la termodinámica.

Aunque representa un nivel de análisis superior al de la aproximación lineal por ponderación empleada inicialmente, no sustituye una simulación numérica detallada del acoplamiento entre la transferencia de calor y el transporte termoeléctrico.

En particular, el modelo no incorpora de manera explícita: (i) las resistencias térmicas y eléctricas de contacto entre etapas, las cuales reducen la eficiencia neta respecto al valor ideal aquí obtenido; (ii) la compatibilidad eléctrica entre materiales con diferentes propiedades termoeléctricas, conocida en la literatura especializada como compatibilidad de factor, cuya consideración resulta necesaria para maximizar el desempeño de un generador segmentado; y (iii) los efectos transitorios asociados a la operación de un motor de combustión interna, donde la temperatura de los gases de escape varía continuamente con la carga y el régimen de funcionamiento.

En consecuencia, la eficiencia global calculada debe interpretarse como un límite superior teórico del desempeño del sistema. No obstante, el modelo conserva utilidad como herramienta de ingeniería para estimar el potencial de recuperación energética de una arquitectura termoeléctrica en cascada y establecer una comparación fundamentada con un sistema convencional de material único. Asimismo, el orden de magnitud de la mejora relativa obtenida resulta consistente con la tendencia reportada en la literatura para configuraciones termoeléctricas segmentadas, lo que respalda la plausibilidad física de la metodología propuesta como una primera aproximación de diseño.

5. Discusión

Posicionamiento competitivo de sulfuros metálicos en la ventana termoeléctrica automotriz

Los resultados compilados en la Sección III evidencian que los sulfuros metálicos han alcanzado, bajo condiciones experimentales controladas de laboratorio, figuras de mérito termoeléctrico (ZT) que los sitúan en rango de competitividad técnica directa con los telururos de bismuto comerciales. Específicamente, se reportan máximos de ZT = 1,33 para $PbS_{0.4}Se_{0.6}$ a 879 K [3], ZT = 1,01 para Bi_2S_3:Cl a 673 K [23], ZT = 1,87 para nanoláminas bidimensionales de SnS_2 a 800 K [10], y ZT ≈ 1,85 para Cu_2Te nanoestructurado a 823 K [21].

Estos valores no únicamente equiparan, sino que superan el desempeño del Bi_2Te_3 comercial (ZT ≈ 1,0–1,1) en la ventana térmica crítica de 600 K a 900 K correspondiente a gases de escape automotrices bajo regímenes de carga media a elevada.

Esta observación posee implicancias significativas desde la perspectiva de ingeniería industrial, ya que sugiere que la sustitución del telurio por azufre —elemento de abundancia geológica varios órdenes de magnitud superior y costo radicalmente inferior— no conlleva necesariamente una penalización severa de desempeño termodinámico, sino más bien una reconfiguración de la ventana óptima de operación térmica del material.

Validez teórica y limitaciones inherentes del modelo segmentado

El modelo de generador termoeléctrico segmentado desarrollado en la Sección V operacionaliza esa observación en una propuesta de arquitectura específica. Su resultado principal —eficiencia global teórica del 14,4 % versus 9,7 % en el caso base, equivalente a una mejora relativa de 48,4 %— resulta termodinámicamente consistente con principios fundamentales.

Este resultado refuerza una intuición cardinal de la segunda ley: la generación de entropía asociada a procesos de conversión energética se minimiza cuando cada etapa de un sistema operativo mantiene proximidad respecto a su óptimo local, en lugar de forzar a un único material a desempeñarse a niveles subóptimos en rangos térmicos amplios para los cuales carece de optimización.

Debe enfatizarse, sin embargo, que el valor de 14,4 % constituye un límite superior teórico bajo supuestos restrictivos:

1. Propiedades termoeléctricas constantes en cada etapa según la aproximación de Ioffe-Altenkirch.
2. Transferencia de calor completa entre etapas sin pérdidas conductivas, radiativas o por contacto.
3. Ausencia de resistencias térmicas e impedancias eléctricas en las interfaces de unión.
4. Operación en régimen permanente sin efectos transitorios.

Una estimación más realista que incorpore pérdidas de contacto conservadoramente estimadas en el rango de 5 % a 9 % predice un intervalo de desempeño de 5,4 % a 9,4 % (media aproximada de 7,4 %), lo cual sigue representando una mejora práctica cercana al 19 % respecto al caso base (aproximadamente 6,2 %). Esta magnitud de mejora permanece lo suficientemente significativa para justificar la viabilidad técnico-económica de la arquitectura segmentada.

Brecha entre caracterización de laboratorio y desempeño en servicio

Existe una asimetría documentada entre la solidez de la caracterización de propiedades de transporte fundamentales (coeficiente Seebeck S, conductividad eléctrica σ y conductividad térmica κ) reportada en la literatura especializada y la documentación de confiabilidad y durabilidad de largo plazo bajo condiciones representativas de operación vehicular.

Un módulo termoeléctrico embarcado en un vehículo de combustión interna debe mantener funcionalidad confiable durante períodos operativos superiores a 1000 horas bajo:

1. Ciclado térmico repetitivo asociado a ciclos diarios de encendido y apagado.
2. Vibración mecánica continua en rangos de frecuencia típicos del transporte automotriz.
3. Ambientes químicamente agresivos derivados de productos de combustión y corrosión.
4. Variabilidad transitoria en temperatura de entrada de gases de escape según régimen de carga y velocidad del motor.

La literatura revisada es consistentemente más robusta en la cuantificación de propiedades de transporte que en la sistematización de datos de durabilidad bajo estas condiciones, constituyendo una brecha de conocimiento experimentalmente relevante.

Factores multiplicativos independientes en la determinación de la eficiencia

El análisis sistemático de las Secciones IV y V confirma un principio conceptual fundamental para el análisis de sistemas termoeléctricos: la eficiencia de conversión real de un generador termoeléctrico es determinada por el producto multiplicativo de tres factores independientes:

1. Figura de mérito del material (ZT): cuantifica la fracción del límite de Carnot efectivamente alcanzable mediante conversión termoeléctrica.
2. Eficiencia de Carnot local ($\eta Carnot = \Delta T/Th$): depende únicamente de la diferencia de temperatura disponible y es independiente del material.
3. Arquitectura térmica del dispositivo (segmentación): introduce un grado de libertad adicional mediante asignación espacial optimizada de materiales a rangos de temperatura.

La naturaleza multiplicativa de estos términos implica que mejoras en cualquiera de los tres frentes amplifican el desempeño global del sistema.

El modelo propuesto sugiere que, para aplicaciones de recuperación de calor residual automotriz, existe un potencial comparable en la optimización de la arquitectura del dispositivo respecto al mejoramiento incremental de ZT de materiales, con complejidad técnica potencialmente menor y retorno de investigación más inmediato.

Contexto de transición energética en el sector automotriz

Es pertinente contextualizar la relevancia tecnológica de este trabajo dentro del panorama más amplio de la transición energética del transporte motorizado.

Aunque la electromovilidad experimenta crecimiento acelerado en mercados desarrollados, diversos análisis prospectivos indican que los motores de combustión interna continuarán representando una fracción sustancial de la flota vehicular global, particularmente en:

1. Transporte pesado de mercancías.
2. Vehículos híbridos enchufables.
3. Mercados emergentes con infraestructura de carga eléctrica limitada.

En estos contextos, la recuperación termoeléctrica del calor residual constituye una estrategia de eficiencia energética complementaria y no excluyente respecto a la electromovilidad, capaz de reducir el consumo específico de combustible y las emisiones de CO_2 por unidad de distancia sin requerir transformaciones radicales de infraestructura.

6. Conclusiones

Magnitud y distribución del calor residual en motores de combustión interna

Los balances energéticos experimentales demuestran que entre el 60 % y 70 % de la energía química del combustible se disipa como calor residual. Esta energía se distribuye principalmente entre los gases de escape (30 %–40 %, 450 K–900 K) y el sistema de refrigeración (20 %–30 %, 360 K–390 K). Esta cuantificación valida la pertinencia técnica de las tecnologías de recuperación termoeléctrica.

Jerarquía exergética de fuentes de calor residual y priorización de gases de escape

Los gases de escape poseen una calidad exergética superior a la del refrigerante debido a su mayor temperatura absoluta. Por ello, la integración de sistemas termoeléctricos debe priorizarse en el acoplamiento con gases de escape, donde el diferencial térmico disponible permite un mejor aprovechamiento del límite de Carnot.

Desempeño termoeléctrico competitivo de sulfuros metálicos libres de telurio

Los compuestos sulfurados investigados alcanzan valores máximos de:

- ZT = 1,33 en $PbS_{0.4}Se$:Gd a 879 K.
- ZT = 1,01 en Bi_2S_3:Cl a 673 K.
- ZT = 1,87 en S_nS_2 a 800 K.
- ZT ≈ 1,85 en Cu_2Te a 823 K.

Estos resultados demuestran que la familia de sulfuros metálicos ha alcanzado niveles de desempeño comparables o superiores a los telururos convencionales en la ventana crítica de 600 K a 900 K.

Eficiencia de arquitectura segmentada en cascada de tres etapas

El modelo propuesto asigna:

- $PbS_{0.4}Se$:Gd: 880 K → 650 K (ZT_1 = 1,33)
- Bi_2S_3:Cl: 650 K → 480 K (ZT_2 = 1,01)
- Bi_2Te_3 comercial: 480 K → 380 K (ZT_3 = 1,05)

La eficiencia teórica estimada es de 14,4 %, frente al 9,7 % del sistema de material único, representando una mejora relativa de 48,4 %. Considerando pérdidas reales, la mejora práctica estimada es aproximadamente del 19 %.

Naturaleza no termodinámica de las barreras de industrialización

Las principales limitaciones para la comercialización son:

- Estabilidad bajo ciclado térmico.
- Resistencia de contacto en interfaces.
- Compatibilidad de corriente y factor de forma.
- Escalamiento industrial de procesos de síntesis.

Estas barreras son de naturaleza tecnológica e ingenieril, y no limitaciones termodinámicas fundamentales.

Recomendaciones para investigación y desarrollo futuros

Las prioridades de investigación incluyen:

- Validación experimental de arquitecturas termoeléctricas en cascada.
- Ensayos acelerados de durabilidad superiores a 1000 horas.
- Optimización de tecnologías de unión entre materiales heterogéneos.
- Análisis de sensibilidad respecto a propiedades termoeléctricas y resistencias de contacto.

Síntesis conceptual y perspectiva de ingeniería energética

El análisis presentado valida un principio fundamental de la termodinámica aplicada: cuando existen rangos térmicos amplios, la descomposición arquitectónica de un sistema en etapas operadas cerca de sus óptimos locales genera ganancias sustanciales de eficiencia global sin requerir materiales con propiedades superiores. Este principio, ampliamente utilizado en sistemas criogénicos y ciclos de potencia convencionales, ha sido insuficientemente explorado en generadores termoeléctricos vehiculares. Los resultados sugieren que la optimización de la arquitectura térmica representa una oportunidad de ingeniería de alto impacto, comparable a las mejoras en ciencia de materiales, pero con una complejidad técnica potencialmente menor y un horizonte de implementación más inmediato.

Relevancia para la transición energética y sostenibilidad del transporte

Considerando que los vehículos impulsados por gasolina y gas natural vehicular continuarán formando parte importante del parque automotor nacional durante los próximos años, la recuperación de calor residual representa una oportunidad inmediata para incrementar la eficiencia energética del transporte. En este contexto, los resultados obtenidos sugieren que mejoras significativas pueden alcanzarse mediante la optimización de la arquitectura termoeléctrica y la adecuada distribución de materiales según el rango de temperatura de operación, sin depender exclusivamente del desarrollo de nuevos materiales con mayores valores de figura de mérito. Esta estrategia amplía las posibilidades de implementación práctica de tecnologías de recuperación energética en aplicaciones vehiculares de corto y mediano plazo.

Mecanismo de compensación exergética y reducción de carga parásita

El modelado demuestra que la ganancia en la eficiencia global del vehículo no se deriva de un retorno de calor hacia el bloque motor, sino de una optimización en el balance eléctrico del sistema. La potencia eléctrica recuperada en las tres etapas segmentadas se inyecta directamente a la red del vehículo. Esto desplaza el trabajo parásito que usualmente ejerce el alternador mecánico sobre el cigüeñal. En consecuencia, el motor de combustión interna experimenta un alivio de carga electro-mecánica, reduciendo su consumo específico de combustible en el rango práctico proyectado del sistema, manteniendo intacto su perfil de rechazo térmico.

7. Literatura citada

[1] **Bhakta, S., & Kundu, B.** (2024). A review of thermoelectric generators in automobile waste heat recovery systems for improving energy utilization. *Energies*, 17(5), 1016. https://www.mdpi.com/1996-1073/17/5/1016

[2] **Caton, J. A.** (2018). The thermodynamics of internal combustion engines: Examples of insights. *Inventions*, 3(2), 33.https://www.mdpi.com/2411-5134/3/2/33

[3] **Taymaz, I.** (2006). An experimental study of energy balance in low heat rejection diesel engine. *Applied Thermal Engineering*. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054420500037X

[4] **Benea, B. C., & Anghel, C.** (2018). Techniques and procedures for assessing the energy balance of internal combustion engines. En *Proceedings of the 4th International Congress of Automotive and Transport Engineering (AMMA 2018)*.https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-94409-8_20

[5] **Zhang, Y., Cleary, M., Wang, X., Kempf, N., Schoensee, L., Yang, J., Joshi, G., & Meda, L**. (2018). Thermoelectric advances to capture waste heat in automobiles. *ACS Energy Letters*. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsenergylett.8b00749

[6] **Tien, T. N., Vu, Q. K., & Duy, V. N.** (2022). Novel designs of thermoelectric generator for automotive waste heat recovery: A review. *AIMS Energy*, 10(4).https://doi.org/10.3934/energy.2022042.https://www.aimspress.com/article/doi/10.3934/energy.2022042

[7] **Goswami, R., Das, R., Ganguly, S., Markides, C. N., Luo, K., Aflatounian, S., Chettiar, K., & Miljkovic, N** (2025). Progress in the design and development of thermoelectric generator heat recovery systems: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032125013048

[8] **Coelho, J., Cabán-Acevedo, M., et al.** (2019). Recent developments in Earth-abundant copper-sulfide thermoelectric materials. *Journal of Applied Physics*, 126(10), 100901.https://pubs.aip.org/aip/jap/article/126/10/100901/280474/

[9] **Puthran, S., Hegde, G. S., & Prabhu, A. N** (2024). Review of chalcogenide-based materials for low-, mid-, and high-temperature thermoelectric applications. *Journal of Electronic Materials*. https://link.springer.com/article/10.1007/s11664-024-11310-7

[10] **Sun, Y., Liu, Y., Li, R., Li, Y., & Bai, S**. (2022). Strategies to improve the thermoelectric figure of merit in thermoelectric functional materials. *Frontiers in Chemistry*, 10, 865281.https://www.frontiersin.org/journals/chemistry/articles/10.3389/fchem.2022.865281/full

[11] **Shankar, M. R., & Prabhu, A. N.** (2023). A review on structural characteristics and thermoelectric properties of mid-temperature range chalcogenide-based thermoelectric materials. *Journal of Materials Science*. https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-023-09028-8

[12] **Liu, W., Xu, L., Xiao, Y., & Zhao, L.-D.** (2023). Strategies to advance earth-abundant PbS thermoelectric. *Applied Materials Today*. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894723015164

[13] **Liu, et al.** (2023). Lattice expansion enables interstitial doping to achieve a high average ZT in n-type PbS. *Interdisciplinary Materials.* https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/idm2.12056

[14] **Kim, H. S., Liu, W., Chen, G., Chu, C. W., & Ren, Z.** (2015). Relationship between thermoelectric figure of merit and energy conversion efficiency. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(27), 8205-8210.https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1510231112

[15] **Hapenciuc, C. L., Borca-Tasciuc, T., & Mihailescu, I. N.** (2017). The relationship between the thermoelectric generator efficiency and the device engineering figure of merit. *AIP Advances*, 7(4), 045007. https://pubs.aip.org/aip/adv/article/7/4/045007/22149/

[16] **Patente US 12120956.** (s. f.). Ion-enhanced thermoelectric generator. Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos. https://image-ppubs.uspto.gov/dirsearchpublic/print/downloadPdf/12120956

[17] **Kolasińska, E., & Kolasiński, P.** (2016). A review on electroactive polymers for waste heat recovery. *Materials, 9*(6), 485. doi:10.3390/ma9060485. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5456777/

[18] **PMC.** (s. f.). Contrasting thermoelectric transport behaviors of p-type PbS caused by doping alkali metals (Li and Na). https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7877382/

[19] **Shao, K., Zhou, D., Yang, M., Zhu, H., Fan, H., & Su, T.** (2023). Facile synthesize and enhanced thermoelectric performance of PbS with Cl doping and PbSe alloying. *Journal of Alloys and Compounds*. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925838823047163

[20] **Choi, J., et al.** (2025). Colloidal nanocrystal assembly enables composition and doping engineering for high-performance PbS-based thermoelectrics. *Applied Physics Letters*, 127(17), 171905. https://pubs.aip.org/aip/apl/articleabstract/127/17/171905/3369149/

[21] **Hou, Z., Cui, Q., Qian, X., Hong, T., et al**. (2025). Enhancing thermoelectric performance of n-type PbS in a wide temperature range through band engineering and dynamic doping. *Materials Today Energy*. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2542529325002639

[22] **Liu, et al.** (2024). Realizing thermoelectric cooling and power generation in N-type $PbS_{0.4}Se_{0.6}$ via lattice plainification and interstitial doping. *Nature Communications*, 15, 3782.https://www.nature.com/articles/s41467-024-48268-3

[23]**Liu, et al**. (2024). Review of current ZT > 1 thermoelectric sulfides. https://www.researchgate.net/publication/371733732_Review_of_current_ZT_1_thermoelectric_sulfides

[24] **Wu, X., et al.** (2016). Thermoelectric materials by using two-dimensional materials with negative correlation between electrical and thermal conductivity. *Nature Communications*, 7, 12011.https://www.nature.com/articles/ncomms12011

[25] **Lu, P., Liu, H., et al**. (2017). Thickness-controlled electronic structure and thermoelectric performance of ultrathin SnS2 nanosheets. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5567102/

[26] **Rathnam, L., Nair, S. S., Ganguly, A., Singh, N., & Das, G**. (2025). Strategies to enhance thermoelectric performance: Review.https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785425015224

[27] **Hou, Z., Wang, D., Hong, T., Qin, Y., Peng, S., Wang, G., Wang, J., Gao, X., Huang, Z., & Zhao, L.-D.** (2020). Boosting thermoelectric performance of n-type PbS through synergistically integrating In resonant level and Cu dynamic doping. *Journal of Solid State Chemistry*. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022369720307617

[28] **MDPI Processes.** (2025). Review of automotive thermoelectric generator structure design and optimization for performance enhancement. *Processes*, 13(6), 1931.https://www.mdpi.com/2227-9717/13/6/1931

[29] **TechRxiv**. (2025). A review of thermoelectric generators for automotive waste heat recovery systems. https://www.techrxiv.org/doi/full/10.36227/techrxiv.173921139.97677264/v2

[30] **Min, G.** (2022). New formulation of the theory of thermoelectric generators operating under constant heat flux. *Energy & Environmental Science.* https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2022/ee/d1ee03114g

Análisis termodinámico de la disipación de calor y eficiencia exergética en sistemas de refrigeración de centros de datos

Sr. Sebastián Andre Angulo Saman
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: sebastian.angulo@unmsm.edu.pe

Sr. Diego Brayan Huarcusi Candia
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: diego.huarcusi@unmsm.edu.pe

Sr. Jhorel Jorge Lopez Conislla
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: jorge.lopezc@unmsm.edu.pe

Sr. Jaime Elías Barrientos Huamani
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: jaime.barrientos@unmsm.edu.pe

Recibido: 07 Septiembre 2026 Aceptado:10 Noviembre 2026

Resumen: El interés generado por los centros de datos ha experimentado un crecimiento exponencial en el transcurso de las últimas décadas. Dicho interés ha permitido a la industria de los centros de datos aumentar la eficiencia espacial de la maquinaria involucrada, dejando de lado las abismales proporciones de las anteriores generaciones. A pesar de ello, este aumento no fue proporcional a las crecientes demandas energéticas de los equipos modernos, ni resultó igualmente eficaz para la disipación del calor residual generado por sus operaciones. Este desequilibrio entre el calor excedente y las crecientes demandas energéticas de los centros de datos ha despertado un mayor interés por la optimización de los sistemas de refrigeración, procurando reducir el gasto energético destinado a su funcionamiento en relación con la cantidad de calor disipado.

Como parte del estudio de los principales sistemas de refrigeración utilizados en la industria, se determinará cuál de los sistemas de enfriamiento —el sistema DX in-row (expansión directa), el sistema CW in-row (agua enfriada o chilled water) y el sistema CRAH (Computer Room Air Handler) con chiller central y torre de enfriamiento— presenta la mayor eficiencia exergética, diferenciando los conceptos de COP y exergía como una alternativa a la forma tradicional de medir la eficiencia de un sistema de refrigeración, representado por el refrigerador de Carnot.

Palabras Clave: Centros de datos/ Sistemas de refrigeración/ Analisis Exergetico/ COP

Abstract: Interest in data centers has grown exponentially over the past few decades. This growing interest has enabled the data center industry to increase the spatial efficiency of the equipment involved, significantly reducing the space required compared with previous generations. Despite these advances, such improvements have not been proportional to the increasing

energy demands of modern equipment, nor have they been equally effective in dissipating the residual heat generated during operation. This imbalance between excess heat and the ever-increasing energy demands of data centers has sparked greater interest in optimizing cooling systems, with the aim of reducing the energy consumption associated with their operation relative to the amount of heat dissipated.

As part of the study of the main cooling systems currently used in the industry, this research will determine which of the following cooling technologies—the DX in-row (direct expansion) system, the CW in-row (chilled-water) system, or the CRAH (Computer Room Air Handler) system with a central chiller and cooling tower—achieves the highest exergetic efficiency. To this end, the concepts of COP and exergy are distinguished, proposing exergy as an alternative to the traditional approach for evaluating the efficiency of refrigeration systems, taking the Carnot refrigerator as the reference model.

Keywords: Data centers / Cooling systems / Exergetic analysis / COP

Résumé : L'intérêt suscité par les centres de données a connu une croissance exponentielle au cours des dernières décennies. Cet engouement a permis au secteur des centres de données d'améliorer l'efficacité spatiale des équipements, en s'éloignant des dimensions démesurées qui caractérisaient les générations précédentes. Toutefois, cette amélioration ne s'est pas faite proportionnellement aux besoins énergétiques croissants des équipements modernes, et ne s'est pas non plus révélée aussi efficace pour dissiper la chaleur résiduelle générée par leur fonctionnement. Ce déséquilibre entre l'excédent de chaleur et la demande énergétique croissante des centres de données a suscité un intérêt accru pour l'optimisation des systèmes de refroidissement, l'objectif étant de réduire la consommation d'énergie nécessaire à leur fonctionnement par rapport à la quantité de chaleur dissipée.

Dans le cadre de l'étude des principaux systèmes de refroidissement utilisés dans l'industrie, nous déterminerons lequel — parmi le système « in-row » à détente directe (DX), le système « in-row » à eau glacée (CW) et le système CRAH (Computer Room Air Handler) associé à un groupe froid central et une tour de refroidissement — présente la meilleure efficacité exergétique. Cette approche permet de distinguer les concepts de COP et d'exergie, offrant ainsi une alternative à la méthode traditionnelle d'évaluation de l'efficacité d'un système de refroidissement, laquelle se réfère au cycle de Carnot.

Mots-clés : Centres de données / Systèmes de refroidissement / Analyse exergétique / COP

1. Introducción

El desarrollo de sistemas eficientes para la refrigeración en los centros de datos puede percibirse como una innovación propia de un futuro distante; sin embargo, tanto estos sistemas como los propios centros de datos poseen una trayectoria más antigua de lo que comúnmente se supone. Según Susnjara y Smalley (s.f.), los antecedentes de los centros de datos modernos se remontan a la década de 1940, cuando comenzaron a construirse instalaciones dedicadas exclusivamente al funcionamiento de grandes equipos de cómputo. El Electrical Numerical Integrator and Computer (ENIAC) del ejército de los Estados Unidos, completado en 1945 dentro de la Universidad de Pensilvania, es un pronto ejemplo de un centro de datos que, como sus contrapartes

actuales, requería de un espacio especializado para albergar sus dimensiones y satisfacer sus necesidades operativas.

Con el paso de las décadas, los avances en la tecnología informática permitieron una reducción progresiva del tamaño físico de los equipos y un aumento en su capacidad de procesamiento.

En la década de 1990, los microordenadores (dispositivos de computación de sobremesa o portátil, que utilizan un microprocesador como su CPU) entraron en escena y, en consecuencia, el espacio requerido para las operaciones asociadas a las tecnologías de la información (TI) disminuyó considerablemente. Estos microordenadores que empezaron a llenar las antiguas salas de los ordenadores mainframe pasaron a conocerse como "servidores", y las salas, como espacio físico, pasaron a denominarse "centros de datos".

La industria de los centros de datos ha experimentado un crecimiento dramático en las últimas décadas. A medida que la eficiencia espacial de sus distintas maquinarias fue incrementando, las limitaciones asociadas a la infraestructura de los centros de datos pasaron a un segundo plano y, en su lugar, creció la justificada preocupación por el consumo energético.

Este último punto puede pasar desapercibido si se compara con otros aspectos, tales como la capacidad de procesamiento o el almacenamiento de datos; sin embargo, los centros de datos son responsables de consumir aproximadamente el 1,3 % de la energía total en todo el mundo. Por este motivo, muchos proveedores de centros de datos han adoptado nuevas estrategias, estándares y/o certificaciones (ISO, Uptime Institute, ASHRAE) con el objetivo de optimizar el uso de la energía y mejorar su imagen corporativa (Díaz et al., 2017). A pesar de ello, el principal problema que enfrentan los centros de datos no está tan ligado al consumo de energía como si lo está al aprovechamiento real de esta última (exergía).

Sintetizado de forma breve, la energía eléctrica consumida por los equipos informáticos termina transformándose casi en su totalidad en calor no aprovechable dentro de estas instalaciones. En consecuencia, el calor producido debe ser extraído continuamente para mantener condiciones operativas adecuadas y garantizar la estabilidad y eficiencia del sistema. Como resultado, casi el 40 % del consumo total de energía de un centro de datos corresponde únicamente al sistema de enfriamiento (Díaz et al., 2017) . Adicionalmente, como requisito de operatividad las mejores prácticas sugieren operar los servidores alrededor de los 22 °C, mientras que las nuevas tecnologías continúan aumentando sus requerimientos de disipación de calor, alcanzando decenas de kW por rack. Esta situación puede derivar eventualmente en problemas asociados tanto al elevado consumo energético como al incremento sostenido de la temperatura.

Aunque este aumento de temperatura pueda parecer un efecto secundario menor, en realidad constituye uno de los principales limitantes del rendimiento, la confiabilidad, la vida útil y el costo operativo de los centros de datos. Como consecuencia, una fracción considerable de la energía destinada a su funcionamiento no se emplea directamente en el procesamiento de información o en actividades de cómputo, sino en alimentar los sistemas de enfriamiento necesarios para disipar el calor residual generado por la propia actividad computacional.

Frente a esta problemática, nuestro trabajo de investigación busca analizar el fenómeno de la disipación de calor en centros de datos desde un enfoque termodinámico, con énfasis en la eficiencia exergética de los sistemas de refrigeración. En este sentido, se emplea el análisis exergético, entendido como una herramienta que permite cuantificar el máximo trabajo útil que

puede obtenerse de una forma de energía bajo condiciones determinadas, con el fin de identificar irreversibilidades y fuentes de ineficiencia dentro del sistema.

2. Motivación y metas

Analizar termodinámicamente la disipación de calor y eficiencia exergética de los sistemas de refrigeración utilizados en los centro de datos, evaluando las irreversibilidades y el desempeño energético del proceso de enfriamiento.

Los objetivos específicos del artículo son los siguientes:

- Describir el funcionamiento de un sistema de refrigeración
- Evaluar la transferencia de calor generada por los centros de datos

3. Fundamentos termodinámicos

3.1 Sistemas termodinámicos

Previo a la aplicación de cualquier método para cuantificar el calor disipado y la eficiencia exergética. Es necesario determinar el tipo de sistema termodinámico con el que nos enfrentamos. Un sistema termodinámico se define como una cantidad de materia o una región en el espacio elegida para ser analizada. La masa o región fuera del sistema se conocerá como los alrededores (Çengel et al., 2019).

En cuanto a los tipos de sistemas termodinámicos que existen, tenemos a los sistemas considerados cerrados o abiertos, dependiendo de si se elige para estudio una masa fija o un volumen fijo en el espacio. Si además de la restricción de masa se impide que la energía cruce la frontera de nuestro sistema, entonces se dé un sistema aislado.

3.2 Energía

Según Çengel et al. (2019) la energía es la capacidad que tiene un cuerpo de realizar trabajo o de transformar o calentar una sustancia. La energía puede existir en varias formas: térmica, mecánica, cinética, potencial, eléctrica, magnética, química o nuclear. A la suma de todas las formas de energía presentes en un sistema se les denomina energía total (E). De acuerdo con la primera ley de la termodinámica, la energía no puede crearse ni destruirse; únicamente puede transformarse de una forma a otra. Como consecuencia, la energía total de un sistema aislado permanece constante. Por ejemplo, cuando una roca cae, su energía potencial gravitatoria disminuye mientras que su energía cinética aumenta. La energía no desaparece.

3.3 Exergía

Respecto a la exergía, Jarauta Rovira y Morata Cariñena (2013) señalan que se refiere a la máxima cantidad de energía que teóricamente puede convertirse en un trabajo útil cuando un sistema evoluciona de manera reversible desde un estado arbitrario hasta alcanzar el equilibrio con su entorno. La porción de energía que no puede transformarse en trabajo útil se denomina anergía, y ambas constituyen conjuntamente la energía total de un sistema que ya se mencionó anteriormente. De esta manera, la exergía puede entenderse como un parámetro unificado para evaluar tanto la cantidad como la calidad de la energía en un proceso.

Un ejemplo típico para comprender el concepto de exergía es el flujo de agua proveniente de una cascada situada a 100 m de altura y empleada para mover las turbinas de una central hidroeléctrica. Debido a su posición elevada, el agua posee energía potencial que puede transformarse en trabajo útil al mover las turbinas. En este caso, gran parte de dicha energía representa exergía, ya que puede aprovecharse para generar electricidad. Una vez que el agua alcanza el río situado aguas abajo, continúa poseyendo energía interna y energía cinética; sin embargo, su capacidad para producir trabajo útil se reduce considerablemente luego de la caída.

3.4 Segunda ley de la termodinámica

La segunda ley de la termodinámica complementa a la primera ley al proporcionar criterios para determinar la dirección natural de los procesos y evaluar la calidad de la energía. Mientras que la primera ley se ocupa de la conservación y transformación de la energía sin considerar su calidad, la segunda ley permite analizar el grado de aprovechamiento de esta y cuantificar su degradación durante los procesos reales (Çengel et al., 2019).. Asimismo, establece los límites teóricos de desempeño de dispositivos como máquinas térmicas y refrigeradores, constituyendo una herramienta fundamental para la evaluación de sistemas energéticos.

De la segunda ley de la termodinámica se desprenden dos enunciados fundamentales: el de Kelvin-Planck, que establece que no es posible convertir íntegramente el calor absorbido en trabajo útil, y el de Clausius, según el cual no es posible transferir calor de un cuerpo frío a otro más caliente sin realizar trabajo externo.

4. Descripción y modelado del sistema

4.1. Funcionamiento del sistema de refrigeración

En el presente trabajo se analizan tres tipos de sistemas de refrigeración para centros de datos: el sistema **DX in-row** (expansión directa), el sistema **CW in-row** (agua enfriada o chilled-water) y el sistema **CRAH** (Computer Room Air Handler) con chiller central y torre de enfriamiento. Cada uno responde a una arquitectura diferente de ciclo termodinámico y presenta un perfil característico de consumo y destrucción de exergía, según los regímenes de carga y las condiciones ambientales.

4.1.1. Sistema Dx in- row o refrigeración directa

El sistema DX in-row es una unidad industrial de 30 kW que opera mediante un ciclo de compresión de vapor directa. A diferencia de los sistemas de agua enfriada, el refrigerante absorbe calor directamente en la unidad ubicada dentro de la sala de servidores. Según Baghsheikhi et al. (2025), este sistema consta de cuatro componentes principales, descritos a continuación en el orden del ciclo termodinámico (Çengel & Boles, 2015):

- Evaporador
- Compresor
- Condensador
- Válvula de expansión

El funcionamiento del ciclo DX sigue la siguiente secuencia: (1) el evaporador — una bobina de tres filas de tubos de cobre con aletas de aluminio — absorbe calor del aire caliente del pasillo, evaporando el refrigerante R410a hasta convertirlo en vapor sobrecalentado (T_s= 16.05 °C, P_1 = 9.63 bar); (2) el compresor rotativo tipo DA550 eleva la presión del refrigerante hasta 30.67 bar, incrementando su temperatura a 82.87 °C; (3) el condensador exterior — una bobina de cuatro filas — rechaza el calor hacia el ambiente, enfriando el refrigerante hasta líquido subenfriado (T = 45.62 °C); y (4) la válvula de expansión electrónica de 450 pasos reduce bruscamente la presión en un proceso isenfálpico, siendo el componente con menor destrucción de exergía del ciclo (15.34 % del total). Cinco ventiladores axiales (240 W c/u, 5800 rpm) extraen el aire caliente del pasillo y lo reinyectan enfriado al pasillo frío. En las pruebas experimentales reportadas por Baghsheikhi et al. (2025), el sistema alcanzó una capacidad de enfriamiento de 30.03 kW con un COP de 3.10 y una eficiencia exergética de 14.79 %. La Figura 1 muestra la unidad DX in-row de 30 kW estudiada y su circuito interno.

Figura N°1: Unidad DX in-row de 30 kW (a) y su circuito interno de refrigeración (b). El sistema emplea refrigerante R410a y cuenta con compresor rotativo, condensador exterior de cuatro filas y válvula de expansión electrónica.

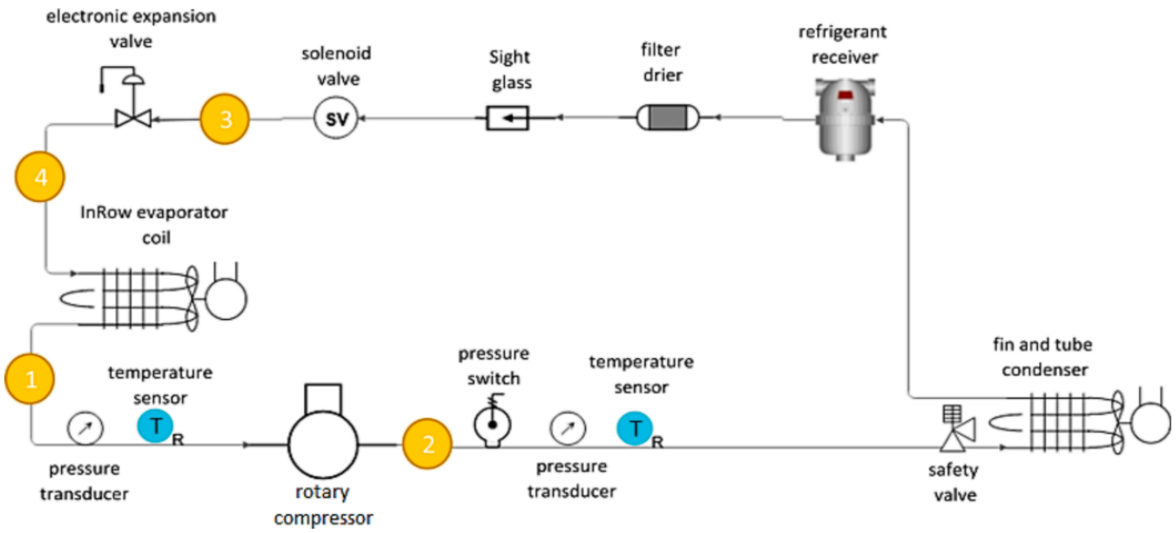


Fig. 2. A schematic of the refrigeration circuit.

Fuente: Baghsheikhi et al. (2025)

Tabla N°1: Validacion de los resultados del sistema DX in-row usando los modelos del resultado.

Validation of the 30-kW DX in-row system model using the test results.

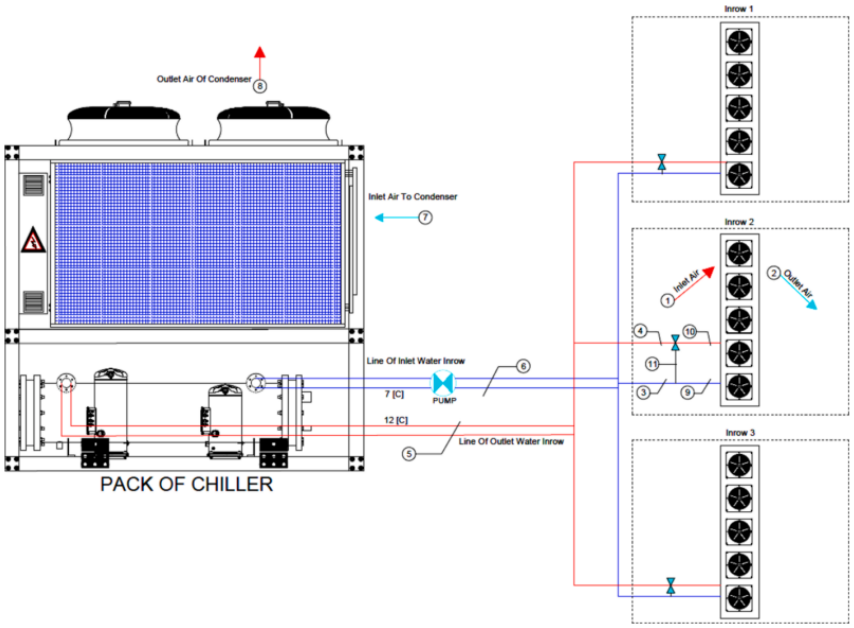
Components	Experimental results (Kw)	EES Model results (Kw)	Error (%)
Cooling Capacity of DX In-row	31.30	30.03	4.15
Compressor Consumed Power	8.19	7.80	4.76
COP	3.18	3.10	2.51

Fuente: Baghsheikhi et al. (2025)

4.1.2. Sistema CW (Chilled water - in row System) o Agua enfriada

El sistema CW in-row es una unidad industrial de 30 kW que no contiene un ciclo de refrigeración propio; en cambio, opera con agua enfriada suministrada externamente por un chiller de compresión de vapor (Baghsheikhi et al., 2025). El agua proveniente del chiller a 7 °C ingresa a la unidad a través de la conexión 4 y circula por una bobina de enfriamiento de cuatro filas de tubos de cobre con aletas de aluminio. Una válvula de control de tres vías (DN20, PN16) regula el caudal admitido comparando las temperaturas de entrada y salida del aire y del agua, optimizando la respuesta a la demanda térmica. Cinco ventiladores axiales (240 W c/u, 5800 rpm) hacen circular el aire caliente del pasillo sobre la bobina y reinyectan el aire enfriado al pasillo frío. El chiller externo, de 30 toneladas de refrigeración, cuenta con dos compresores scroll (Copeland ZR190KCE-TFD y ZR250KCE-TFD) y utiliza refrigerante R407c. Este chiller es responsable del 74 % de la destrucción total de exergía del sistema (ratío de exergía del chiller = 74.04 %), debido a las grandes diferencias de temperatura en el condensador y al comportamiento on-off del compresor (Baghsheikhi et al., 2025). Para garantizar suministro isotérmico estable en configuraciones de laboratorio, el circuito incluye un tanque de acumulación de 10,000 litros. En comparación con el sistema DX, el CW in-row presentó una eficiencia exergética de 12.39 % y un COP de 3.07 bajo las mismas condiciones de carga. Las Figuras 3 y 4 ilustran la unidad CW in-row y el esquema del ciclo de agua enfriada en la sala de prueba.

Figura N°2: Unidad CW in-row de 30 kW utilizada en el estudio. La unidad contiene una bobina de cuatro filas, cinco ventiladores axiales y una válvula de tres vías para el control de caudal de agua.



Fuente: Baghsheikhi et al. (2025)

Tabla N°2: Validacion de los resultados del sistema chilled-water in-row usando los modelos del resultado.

Validation of the chilled-water in-row system model using the test results.

Components	Experimental Results (kW)	EES Model Results (kW)	Error (%)
Chiller Capacity	102	97.71	4.20
Chiller Consumed Power	31.58	29.88	5.70
Chilled-Water InRow Capacity	31.30	29.80	4.79

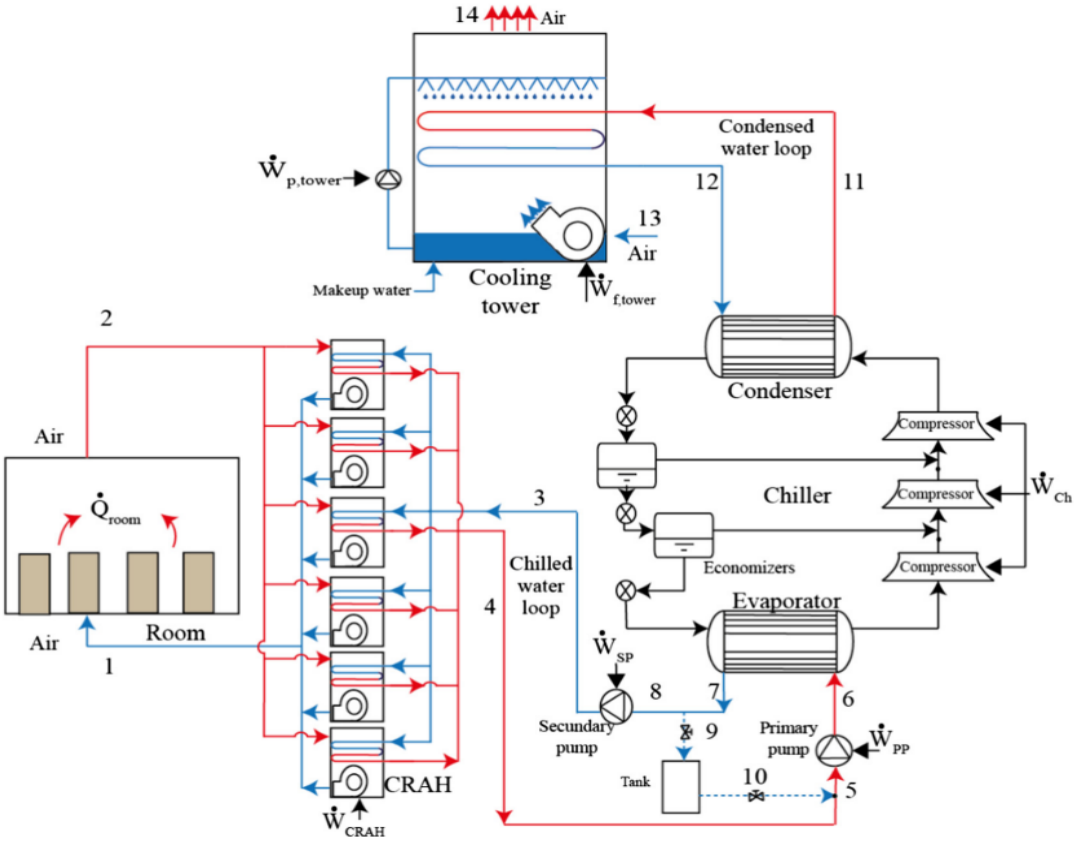
Fuente: Baghsheikhi et al. (2025)

4.1.3. Sistema CRAH (Computer Room Air Handle)

El sistema CRAH (Computer Room Air Handler) es la unidad central de manejo de aire en los sistemas de refrigeración perimetral de centros de datos. A diferencia del CRAC (Computer Room Air Conditioner), el CRAH no contiene un ciclo de refrigeración propio; en cambio, utiliza agua fría suministrada por un chiller central como fluido de enfriamiento (Díaz et al., 2017). Este sistema forma parte de una cadena térmica más extensa que incluye también el chiller y una torre de enfriamiento. La Figura 5 muestra el esquema de la sala del centro de datos con el sistema CRAH, identificando el piso elevado (1), el pasillo frío (2), el pasillo caliente (3), los racks (4) y el retorno de aire caliente (5).

El principio de operación es el siguiente: el CRAH toma el aire caliente de retorno de la sala de servidores (T_2 variable según recirculación) y lo hace pasar por una batería de tubos de agua fría a $T_7 = 6$ °C (Díaz et al., 2017). El calor es transferido al agua, y el aire resultante, enfriado a $T_1 \approx 20$ °C, se inyecta al piso elevado y se distribuye por las losetas perforadas hacia el pasillo frío, donde ingresa a cada rack. Según los parámetros operativos reportados por Díaz et al. (2017), cada CRAH tiene una capacidad máxima de disipación de $Q_{haE} = 118.6$ kW, un caudal de aire máximo de 8.33 m³/s y un caudal de agua máximo de 0.00473 m³/s. La Tabla 1 presenta los parámetros operativos completos del sistema. El sistema puede emplear de 1 a 6 unidades CRAH en función de la carga térmica, activándose unidades adicionales cuando una unidad alcanza su límite de capacidad o caudal de aire.

Figura N°3: Esquema de la sala del centro de datos con sistema de refrigeración perimetral CRAH. Se identifican: (1) piso elevado con losetas perforadas, (2) pasillo frío donde ingresa el aire enfriado a ≈20 °C, (3) pasillo caliente con retorno a ≈32 °C, (4) racks de servidores y (5) retorno de aire caliente al CRAH. Las flechas rojas indican recirculación no deseada de aire caliente, principal fuente de irreversibilidad del sistema.



Fuente: Díaz et al. (2017)

Tabla N°3: Parametros operativos del sistema de refrigeración.

Refrigeration system operating parameters.

Parameter	Value
Number of racks	1–42
Rack load density (kW)	2; 5; 10; 15
Air flow per rack (m^3/s)	0.3
Processor temperature (°C)	65
CRAH, heat flow dissipation capacity (kW)	118.6
CRAH, fan nominal power consumption (kW)	5.44
CRAH, water temperature variation, T_4-T_3 (°C)	6
CRAH, power consumption associated to controllers and monitoring systems (kW)	3.26
CRAH, water line pressure drop (bar)	0.758
CRAH, maximum air flow rate (m^3/s)	8.33
CRAH, maximum water flow rate (m^3/s)	0.00473
Chilled water loop pressure, P_3 (bar)	3
Chiller, minimum water flow rate through the evaporator (m^3/s)	0.035
Chiller, cooling capacity (ton)	300
Chiller, minimum water flow rate through the condenser (m^3/s)	0.056
Cooling tower, fan power consumption (kW)	15
Cooling tower, fan nominal speed (RPM)	462
Cooling tower, fan diameter (mm)	660
Cooling tower, pump power consumption (kW)	5
Primary pump nominal power consumption (kW)	15
Secondary pump nominal power consumption (kW)	30
Isentropic efficiency of primary and secondary pumps (%)	80.2

Fuente: Díaz et al. (2017)

4.1.4. Chiller y torre de enfriamiento

El chiller es la unidad de refrigeración central que produce el agua fría (chilled water) suministrada a las unidades CRAH. Opera mediante un ciclo de compresión de vapor de múltiples etapas, rechazando el calor absorbido hacia la torre de enfriamiento. Conforme a Çengel & Boles (2015), el ciclo de compresión de vapor constituye el método de refrigeración dominante en aplicaciones industriales, dado que permite mover calor desde una fuente fría hacia un sumidero caliente mediante el aporte de trabajo mecánico al compresor.

En el sistema estudiado por Díaz et al. (2017) se emplea un chiller Trane CVHE con refrigerante R-123, dos economizadores y tres etapas de compresión, con una capacidad nominal de Q_n = 1,055.06 kW. Los economizadores permiten sub-enfriar el refrigerante entre etapas de compresión, reduciendo el trabajo total del compresor respecto a un ciclo simple. La torre de enfriamiento (modelo Marley MCF7055), por su parte, rechaza el calor del chiller al ambiente exterior mediante evaporación: dos ventiladores de 15 kW cada uno y una bomba de 5 kW mantienen el flujo de agua y aire necesarios para suministrar agua a T_{12} = 25 °C al condensador del chiller. La Figura 6 muestra el esquema completo del sistema de refrigeración con el chiller, la torre y las unidades CRAH.

Tabla N°4: Comparasion de consumo de exergia y exergonomia entre los sistemas Chilled y Dx

Comparison of exergy and exergoeconomic analyses for two cooling technologies in a 90 kW data center.

Type of system	Exergy efficiency	Relative cost difference	Exergoeconomic factor
Direct expansion InRow	14.79 %	6.20	22.17 %
Chilled-water InRow	12.4 %	7.45	49.42 %

Fuente: Díaz et al. (2017)

4.2. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor: Base termodinámica común

Los tres sistemas descritos (DX in-row, CW in-row y CRAH-chiller) comparten un principio común: el ciclo de compresión de vapor. Según Çengel & Boles (2015), este ciclo es el más ampliamente utilizado en aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado porque permite transferir calor desde una fuente fría (los servidores) hacia el ambiente exterior mediante el aporte de trabajo eléctrico al compresor. El ciclo ideal (Figura 7) consta de cuatro procesos fundamentales, que en un diagrama presión-entalposa (P-h) se representan como:

- Proceso 1-2 — Compresión isentrópica: El refrigerante en estado de vapor saturado (o vapor sobrecalentado) ingresa al compresor y es comprimido adiabáticamente hasta la presión de condensación, incrementando su temperatura.
- Proceso 2-3 — Condensación a presión constante: El refrigerante sobrecalentado cede calor al medio de alta temperatura (agua de la torre o aire exterior) hasta convertirse en líquido saturado o subenfriado.
- Proceso 3-4 — Expansión en válvula de estrangulamiento: El líquido a alta presión pasa por la válvula de expansión, donde su presión y temperatura disminuyen bruscamente en un proceso isentálpico irreversible.
- Proceso 4-1 — Evaporación a presión constante: El refrigerante en estado de mezcla líquido-vapor absorbe calor del espacio refrigerado (el centro de datos), evaporándose completamente y completando el ciclo.

La segunda ley de la termodinámica establece que el calor no fluye espontáneamente desde una temperatura baja hacia una alta. Para lograr este proceso inverso — que es exactamente lo que hacen los sistemas de refrigeración de centros de datos — es necesario suministrar trabajo externo al ciclo. Este trabajo es realizado por el compresor, que eleva la presión y temperatura del refrigerante para que pueda rechazar calor hacia el ambiente exterior (Çengel & Boles, 2015). En los centros de datos, el "espacio refrigerado" es la sala de servidores, y el calor rechazado es el que se disipa finalmente en la torre de enfriamiento o el condensador exterior.

4.3. Coeficiente de Desempeño (COP) del sistema

El desempeño de los sistemas de refrigeración se mide con el Coeficiente de Desempeño (COP), definido según Çengel & Boles (2015) como la razón entre el efecto de enfriamiento obtenido y el trabajo neto consumido. Para el sistema completo del centro de datos, Díaz et al. (2017) extienden esta definición considerando todos los equipos del ciclo (Ecuación 1 de la Figura 7)*:*

$$\mathrm{COP_R} = \frac{\text{Salida deseada}}{\text{Entrada requerida}} = \frac{\text{Efecto de enfriamiento}}{\text{Entrada de trabajo}} = \frac{Q_L}{W_{\text{neto,entrada}}}$$

$$\mathrm{COP_{BC}} = \frac{\text{Salida deseada}}{\text{Entrada requerida}} = \frac{\text{Efecto de calentamiento}}{\text{Entrada de trabajo}} = \frac{Q_H}{W_{\text{neto,entrada}}}$$

$$\mathrm{COP_{BC}} = \mathrm{COP_R} + 1$$

Sin embargo, como se analizará en la Sección 6, el COP puede resultar engañoso: Díaz et al. (2017) demostraron que el COP aumenta con la recirculación de aire caliente — una condición que termodinámicamente empeora el sistema — porque el calor removido aumenta más rápidamente que el trabajo consumido. Por esta razón, el análisis de segunda ley (eficiencia exergética) es necesario para complementar el COP.

$$\mathrm{COP_{R,Carnot}} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

$$\mathrm{COP_{BC,Carnot}} = \frac{1}{1 - T_L/T_H}$$

5. Número de estantes y efecto de mezcla de aire

5.1. El efecto del número de bastidores activos

La cantidad de bastidores activos altera la relación entre carga térmica real y capacidad instalada. Cuando el centro de datos opera con baja ocupación, las unidades de enfriamiento pueden mantenerse activas por encima de la demanda efectiva, lo que incrementa el consumo auxiliar y la destrucción relativa de exergía. Por el contrario, a mayor ocupación la carga térmica total aumenta y el sistema se acerca a su punto de diseño, aunque también se incrementa la exigencia sobre el chiller.

Díaz et al. (2017) reportaron que una menor cantidad de racks activos incrementa la destrucción de exergía debido al uso excesivo de potencia en condiciones de baja demanda. Asimismo, observaron que el chiller domina el consumo cuando los racks son de alta densidad, mientras que en cargas bajas la torre de enfriamiento puede adquirir mayor participación energética.

Este comportamiento demuestra que el diseño del sistema debe ser modular y variable. En términos prácticos, no basta con instalar una capacidad de enfriamiento elevada; también se requiere que ventiladores, bombas, compresores y torres respondan proporcionalmente a la car-

ga real. De lo contrario, el sistema mantiene la temperatura, pero lo hace con una penalización termodinámica innecesaria.

5.2. Efecto de la carga térmica por rack

La carga térmica por rack determina el flujo de calor que debe ser extraído desde la zona de servidores hacia el sistema de refrigeración. Cuando la carga aumenta, se requiere mayor caudal de aire o agua, mayor capacidad de intercambio y mayor trabajo de compresión. Por esta razón, los racks de alta densidad trasladan el punto crítico del sistema hacia el chiller y el condensador.

En cargas bajas, la ineficiencia puede originarse por sobredimensionamiento de equipos auxiliares; en cargas altas, en cambio, el consumo se concentra principalmente en el ciclo de refrigeración. La Figura 3 resume esta tendencia de forma conceptual para facilitar la discusión del comportamiento energético.

5.3. Efecto de la mezcla de aire caliente y frío

La recirculación se produce cuando el aire caliente descargado por los servidores retorna hacia la admisión de los racks, mezclándose con el aire frío suministrado. Aunque esta situación puede parecer un problema de distribución de flujo, desde la segunda ley implica generación de entropía y destrucción de exergía, debido a la mezcla irreversible de corrientes a diferentes temperaturas.

Silva-Llanca et al. (2019) evaluaron estrategias de suministro de aire mediante generación de entropía y mostraron que la configuración del flujo influye en la efectividad del enfriamiento. Por su parte, Gupta et al. (2020) indicaron que el espacio de aire puede representar una fracción relevante de la pérdida exergética total en arquitecturas de enfriamiento por aire, especialmente cuando existen mezcla térmica y pérdidas de presión.

Por ello, la contención de pasillos, el sellado de aberturas, la correcta ubicación de baldosas perforadas y el ajuste de caudales son medidas que no solo reducen puntos calientes, sino que también disminuyen la generación de entropía en la sala. En consecuencia, mejoran la eficiencia de segunda ley del proceso de disipación de calor.

6.Análisis exergético y evaluación del desempeño termodinámico de los sistemas de refrigeración

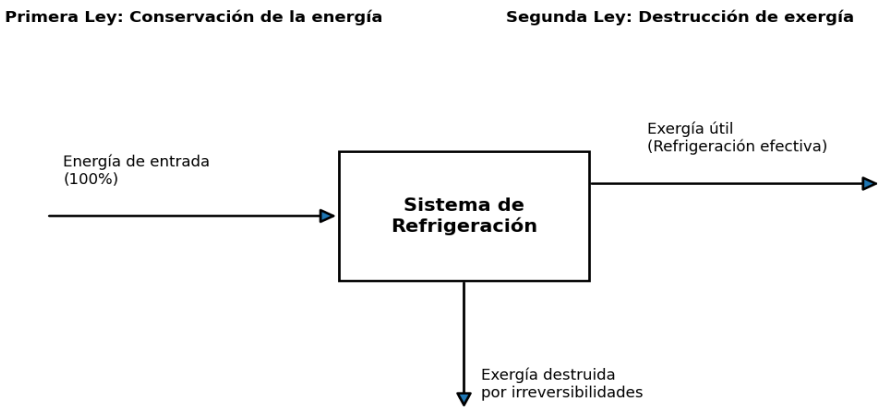
6.1. Fundamentos del análisis exergético

El análisis del desempeño de los sistemas de refrigeración suele realizarse mediante indicadores energéticos tradicionales, como el Coeficiente de Rendimiento (COP), que relaciona la capacidad de enfriamiento obtenida con la energía consumida por el sistema. No obstante, este enfoque se basa principalmente en la Primera ley de la termodinámica, la cual establece la conservación de la energía, pero no proporciona información acerca de la calidad de dicha energía ni sobre las pérdidas ocasionadas por las irreversibilidades presentes en los procesos reales. Por esta razón, en las últimas décadas ha cobrado especial relevancia el análisis exergético como herramienta complementaria para la evaluación del desempeño termodinámico de sistemas térmicos y de refrigeración.

La exergía puede definirse como el máximo trabajo útil que puede obtenerse de un sistema cuando este alcanza el equilibrio con un entorno de referencia. En palabras de Dincer y Çengel (2001), "Exergy is defined as the maximum amount of work which can be produced by a system or a flow of matter or energy as it comes to equilibrium with a reference environment". Esta definición resalta que la exergía no solo considera la cantidad de energía disponible, sino también su capacidad real para transformarse en trabajo útil.

Una de las principales diferencias entre los conceptos de energía y exergía radica en su comportamiento durante los procesos termodinámicos. Mientras que la energía se conserva de acuerdo con la Primera ley de la termodinámica, la exergía disminuye debido a las irreversibilidades presentes en los procesos reales. Como se muestra en la Figura 6, parte de la energía suministrada al sistema puede aprovecharse para producir un efecto útil de refrigeración, mientras que otra parte de su potencial de trabajo se destruye como consecuencia de la generación de entropía y otros fenómenos irreversibles.

Figura N°6: Representación conceptual del flujo de energía y destrucción de exergía en un sistema de refrigeración. Se muestra la energía suministrada al sistema, la fracción aprovechada como exergía útil para el proceso de refrigeración y la exergía destruida debido a irreversibilidades asociadas a la transferencia de calor, la fricción y otros procesos reales. El esquema ilustra la diferencia fundamental entre la conservación de la energía establecida por la Primera ley de la termodinámica y la degradación de la exergía explicada por la Segunda ley.



Fuente: Elaboración propia con base en Dincer y Çengel (2001)

La importancia de la Segunda ley de la termodinámica dentro del análisis exergético radica precisamente en que permite evaluar la calidad de la energía y cuantificar las pérdidas asociadas a fenómenos irreversibles. Mientras que un análisis energético convencional puede indicar que la energía se conserva dentro de un sistema, no es capaz de determinar qué fracción de dicha energía se encuentra realmente disponible para producir trabajo útil. Por ello, el análisis exergético proporciona una visión más completa del desempeño termodinámico, permitiendo identificar oportunidades de mejora y optimización.

En sistemas de refrigeración, esta diferencia resulta especialmente relevante debido a que diversos componentes operan bajo condiciones alejadas del equilibrio termodinámico. Procesos

como la compresión, la transferencia de calor y la circulación de fluidos generan pérdidas que no pueden ser identificadas únicamente mediante balances energéticos. Como consecuencia, dos sistemas pueden presentar consumos energéticos similares, pero desempeños termodinámicos distintos cuando se consideran las irreversibilidades presentes en cada uno de ellos.

La literatura reciente sobre refrigeración en centros de datos respalda esta necesidad de complementar los análisis energéticos con enfoques basados en la Segunda ley de la termodinámica. Díaz et al. (2017) señalan que indicadores como el COP pueden resultar insuficientes para evaluar adecuadamente el comportamiento de los sistemas de enfriamiento, ya que no reflejan el impacto de las irreversibilidades internas ni de la destrucción de exergía. Por ello, los autores recomiendan incorporar la eficiencia de segunda ley como criterio adicional para obtener una evaluación más realista del desempeño térmico.

En consecuencia, el análisis exergético constituye una herramienta fundamental para comprender el funcionamiento de los sistemas de refrigeración modernos. Su aplicación permite trascender el simple balance de energía y centrarse en la calidad de los recursos energéticos utilizados, proporcionando una base más sólida para la identificación de ineficiencias y la mejora continua de los sistemas de enfriamiento en centros de datos.

6.2. Destrucción de exergía e irreversibilidades en sistemas de refrigeración

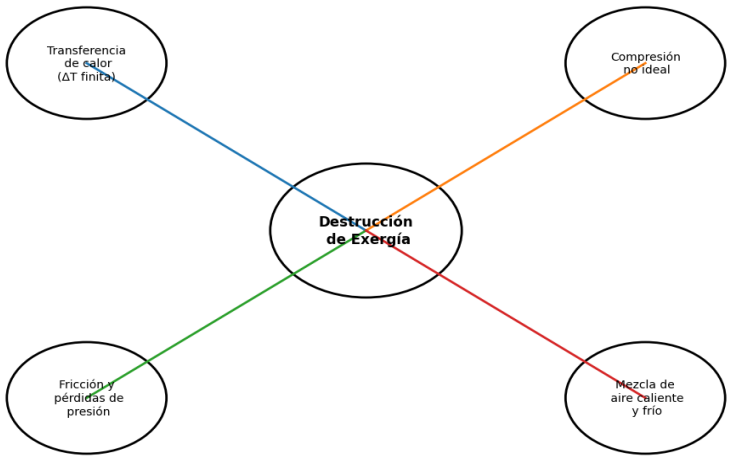
La destrucción de exergía constituye uno de los conceptos centrales del análisis exergético, ya que representa la pérdida de capacidad para producir trabajo útil como consecuencia de las irreversibilidades presentes en los procesos reales. A diferencia de la energía, que se conserva de acuerdo con la Primera ley de la termodinámica, la exergía puede degradarse o destruirse debido a fenómenos que alejan al sistema de un comportamiento ideal. Por ello, la destrucción de exergía se considera una medida directa de la ineficiencia termodinámica de un sistema.

Según Dincer y Çengel (2001), en los sistemas reales la exergía siempre es destruida parcial o totalmente debido a la presencia de irreversibilidades. Este planteamiento convierte a la destrucción de exergía en un indicador particularmente útil para localizar las fuentes de pérdida de desempeño y cuantificar su impacto sobre la eficiencia global del sistema.

La destrucción de exergía se encuentra estrechamente relacionada con la generación de entropía, concepto fundamental de la Segunda ley de la termodinámica. Cuando un proceso genera entropía, parte del potencial energético disponible deja de ser aprovechable para producir trabajo útil. En consecuencia, un aumento de la generación de entropía implica un incremento de la destrucción de exergía y, por tanto, una reducción de la eficiencia termodinámica. Esta relación permite utilizar el análisis exergético como una herramienta para identificar los procesos responsables de la mayor degradación energética dentro de un sistema.

Diversos estudios han demostrado que las principales irreversibilidades en los sistemas de refrigeración se originan en procesos de transferencia de calor, compresión y transporte de fluidos. Bejan (2002) señala que la transferencia de calor con diferencias finitas de temperatura constituye una de las fuentes más importantes de destrucción de exergía. Asimismo, estas pérdidas termodinámicas pueden originarse por compresión no ideal, fricción, pérdidas de presión y mezcla de corrientes de aire. Como se muestra en la Figura 7, estas fuentes de irreversibilidad son responsables de la degradación de la energía útil disponible y, en consecuencia, de la disminución de la eficiencia exergética del sistema.

Figura N°7: Principales fuentes de irreversibilidad responsables de la destrucción de exergía en sistemas de refrigeración. Se identifican: (1) transferencia de calor con diferencia finita de temperatura, (2) compresión no ideal del refrigerante, (3) fricción y pérdidas de presión durante el flujo de fluidos y (4) mezcla de corrientes de aire caliente y frío. Estos fenómenos incrementan la generación de entropía y reducen la capacidad del sistema para producir trabajo útil, provocando una disminución de la eficiencia exergética.



Fuente: Elaboración propia con base en Bejan (2002)

Otra fuente importante de irreversibilidades corresponde a la compresión no ideal del refrigerante. En condiciones reales, los compresores presentan pérdidas mecánicas, eléctricas y termodinámicas que incrementan el consumo energético y reducen el aprovechamiento del trabajo suministrado. Estas pérdidas se traducen en una mayor destrucción de exergía y afectan directamente el desempeño global del ciclo de refrigeración.

Asimismo, la fricción interna y las pérdidas de presión que ocurren durante el transporte del refrigerante o del aire de enfriamiento generan degradación energética adicional. De acuerdo con Bejan (2002), los fenómenos asociados al flujo de fluidos representan mecanismos importantes de generación de entropía, especialmente cuando existen cambios bruscos de dirección, restricciones geométricas o velocidades elevadas. Estas condiciones provocan pérdidas de carga que incrementan la destrucción de exergía dentro del sistema.

En el contexto de los centros de datos, una fuente adicional de irreversibilidades corresponde a la mezcla de corrientes de aire caliente y aire frío. Cuando el aire caliente expulsado por los servidores se mezcla con el aire frío suministrado por los sistemas de refrigeración, se incrementa la generación de entropía y se reduce la calidad de la energía utilizada para el enfriamiento. Díaz et al. (2017) identificaron este fenómeno como una de las principales causas de destrucción de exergía en centros de datos, destacando que la recirculación de aire caliente deteriora el desempeño termodinámico del sistema incluso cuando algunos indicadores energéticos tradicionales sugieren mejoras aparentes.

Por lo tanto, el análisis de la destrucción de exergía permite identificar con mayor precisión los componentes y procesos responsables de las pérdidas termodinámicas. Esta capacidad de diagnóstico constituye una ventaja significativa frente a los métodos convencionales basados únicamente en balances energéticos, ya que facilita la implementación de estrategias orientadas

a reducir irreversibilidades, optimizar el uso de la energía y mejorar la eficiencia global de los sistemas de refrigeración. La Tabla 5 resume las principales fuentes de irreversibilidad identificadas en la literatura y sus efectos sobre el desempeño termodinámico de estos sistemas.

Tabla N°5: Principales fuentes de irreversibilidad y sus efectos termodinámicos en sistemas de refrigeración.

Fuente de irreversibilidad	Consecuencia termodinámica
Transferencia de calor con ΔT finita	Incrementa la generación de entropía y destruye exergía
Compresión no ideal	Reduce la eficiencia real del compresor
Fricción y pérdidas de presión	Produce degradación energética durante el flujo
Mezcla de aire caliente y aire frío	Incrementa irreversibilidades y disminuye la calidad energética

Nota: La destrucción de exergía constituye una medida directa de las ineficiencias termodinámicas generadas por procesos irreversibles.

Fuente: Adaptado de Bejan (2002) y complementado con los conceptos de análisis exergético descritos por Dincer y Çengel (2001).

6.3. Influencia de la mezcla de aire caliente y aire frío en el desempeño del sistema

6.3.1 Mezcla de corrientes de aire en centros de datos

Como se describió en la Sección 4.1.3, el sistema CRAH suministra aire frío al pasillo frío para enfriar los servidores, mientras que el aire caliente resultante es expulsado hacia el pasillo caliente y posteriormente retorna al sistema de refrigeración. Idealmente, ambas corrientes deberían permanecer separadas; sin embargo, debido a diferencias de presión, fugas o diseños inadecuados de la sala, una fracción del aire caliente puede regresar al pasillo frío y mezclarse con el aire suministrado por el sistema de enfriamiento. Esta situación recibe el nombre de recirculación de aire caliente y constituye una de las principales fuentes de ineficiencia en los centros de datos.

6.3.2 Efecto de la mezcla sobre la destrucción de exergía

$$\dot{E}x_{dest} = T_0 \dot{S}_{gen}$$

Desde el punto de vista energético, la energía total del aire permanece prácticamente constante durante la mezcla. Sin embargo, desde el punto de vista exergético, ocurre una disminución de la capacidad de la energía para transformarse en trabajo útil. Esto se debe a que la mezcla espontánea de corrientes a diferentes temperaturas genera entropía y aumenta las irreversibilidades del sistema. La relación entre destrucción de exergía y generación de entropía puede expresarse mediante la ecuación:

Esta ecuación muestra que toda generación de entropía implica una pérdida irreversible de exergía. Por ello, cuando aumenta la mezcla entre aire caliente y aire frío, también aumenta la destrucción de exergía dentro del sistema.

6.4. Evaluación del desempeño termodinámico mediante indicadores energéticos y exergéticos

Los sistemas de refrigeración analizados en la Sección 4 tienen la función de extraer el calor generado por los equipos informáticos y mantener condiciones térmicas adecuadas para su funcionamiento. Tradicionalmente, el desempeño de estos sistemas se evalúa mediante el Coeficiente de Desempeño (COP), un indicador energético que relaciona la capacidad de enfriamiento obtenida con la potencia consumida por el sistema.

Aunque el COP permite evaluar la eficiencia energética global del proceso de enfriamiento, este indicador se basa únicamente en la Primera ley de la termodinámica y no considera las pérdidas ocasionadas por las irreversibilidades presentes durante la operación del sistema. Por esta razón, resulta necesario complementar el análisis mediante la eficiencia exergética o eficiencia de segunda ley, la cual incorpora el efecto de la destrucción de exergía sobre el desempeño del sistema.

$$\eta_{II,system} = 1 - \frac{\dot{\chi}_{dest,system}}{\dot{\chi}_{in}} = 1 - \frac{\dot{\chi}_{dest,system}}{\dot{W}_{system} + n_{racks}\dot{Q}_{rack}\left(1 - \frac{T_0}{T_p}\right)}$$

Donde podemos observar a la exergía total añadida al sistema de refrigeración, la destrucción de exergía del sistema de refrigeración, el número de bastidores activos y la temperatura del procesador

La principal diferencia entre ambos indicadores radica en que el COP evalúa únicamente la cantidad de energía utilizada, mientras que la eficiencia exergética considera también la calidad de dicha energía y su capacidad para producir trabajo útil.

Tabla N°6: Desempeño energético y exergético de los sistemas analizados

Sistema	COP	Eficiencia exergética (%)
DX In-Row	3.10	14.79
CW In-Row	3.07	12.39

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 6.3, ambos sistemas presentan valores de COP muy similares, con una diferencia de apenas 0.03 unidades. Desde una perspectiva exclusivamente energética, podría concluirse que ambos sistemas poseen prácticamente el mismo desempeño. No obstante, el análisis exergético revela diferencias más significativas. El sistema DX In-Row alcanza una eficiencia exergética de 14.79 %, mientras que el sistema CW In-Row registra un valor de 12.39 %.

Estos resultados indican que el sistema DX In-Row aprovecha de manera más eficiente la energía disponible y presenta menores pérdidas asociadas a irreversibilidades. En otras palabras,

aunque ambos sistemas consuman cantidades similares de energía para producir refrigeración, no utilizan dicha energía con la misma efectividad desde el punto de vista termodinámico.

Además, tal como se analizó en la Sección 6.3, la mezcla entre aire caliente y aire frío genera un incremento de las irreversibilidades y de la destrucción de exergía dentro del centro de datos. En estas condiciones, el COP puede mantenerse relativamente constante o incluso mostrar ligeras mejoras, mientras que la eficiencia exergética disminuye debido al deterioro de la calidad energética del proceso. Por ello, la evaluación conjunta de ambos indicadores proporciona una visión más completa del desempeño de los sistemas de refrigeración y permite identificar oportunidades de mejora orientadas a reducir las pérdidas termodinámicas y optimizar la operación de los centros de datos.

7. Energía y comsumo energético total del centro de datos

7.1. Por qué el chiller consume tanto

El chiller consume una proporción importante de energía porque opera mediante un ciclo de compresión de vapor. El compresor debe elevar la presión y la temperatura del refrigerante para que el calor absorbido en el evaporador pueda rechazarse posteriormente en el condensador. Por ello, cuanto menor sea la temperatura de evaporación o mayor sea la temperatura de condensación, mayor será el trabajo requerido por el compresor y menor será el coeficiente de rendimiento del sistema (Çengel & Boles, 2019).

Desde el enfoque exergético, el consumo del chiller aumenta cuando el sistema trabaja con diferencias de temperatura innecesariamente grandes. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando se suministra aire o agua más fría de lo necesario para compensar una mala distribución del aire, recirculación o puntos calientes. En consecuencia, una adecuada gestión del flujo de aire permite reducir indirectamente el trabajo de compresión y las irreversibilidades del sistema de refrigeración (Díaz et al., 2017).

Van Geet y Sickinger (2024) recomiendan elevar la temperatura de entrada del aire a los equipos informáticos dentro de los límites seguros, controlar la velocidad de ventiladores y bombas de acuerdo con la carga térmica, y emplear estrategias de free cooling o economización. Estas medidas reducen la necesidad de utilizar sistemas de refrigeración basados en compresores, como los chillers o sistemas de expansión directa.

7.2. Comparación entre DX cooling y chilled-water

Los sistemas DX cooling son soluciones de expansión directa en las que el refrigerante absorbe calor directamente en la unidad de enfriamiento. Su principal ventaja es la simplicidad de instalación, por lo que resultan frecuentes en salas pequeñas o medianas. Sin embargo, su flexibilidad puede ser limitada cuando la carga térmica crece o cuando se requieren estrategias avanzadas de economización.

Los sistemas chilled-water, en cambio, utilizan una planta central de agua helada, unidades CRAH, bombas, chillers y torres de enfriamiento. Aunque presentan mayor complejidad e inversión inicial, ofrecen mejor escalabilidad, mayor control a carga parcial y posibilidad de operar con temperaturas de agua más elevadas, lo que mejora la eficiencia del chiller y aumenta las horas disponibles de economización. (DOE/NREL, 2024).

8. Conclusiones

El análisis desarrollado permite concluir que el desempeño de los sistemas de refrigeración en centros de datos depende no solo de la capacidad instalada de los equipos, sino también de la forma en que estos se adaptan a las condiciones reales de operación y aprovechan los recursos brindados. La relación entre la carga térmica generada por los servidores, la estrategia de control implementada y la distribución del flujo de aire influye directamente en el consumo energético y en la eficiencia global del sistema. En escenarios de baja ocupación, los sistemas sobredimensionados pueden presentar mayores pérdidas relativas de exergía debido a un aprovechamiento insuficiente de los recursos disponibles. Por el contrario, cuando la densidad de carga térmica aumenta, el chiller adquiere un papel predominante dentro del consumo energético total de la instalación, convirtiéndose en uno de los principales focos de optimización (Díaz et al., 2017).

La mezcla entre corrientes de aire a diferentes temperaturas incrementa la generación de entropía y reduce la calidad energética del proceso de enfriamiento, obligando al sistema a operar con mayores caudales de aire o con temperaturas de suministro más bajas para mantener condiciones seguras en los equipos informáticos. Desde una perspectiva termodinámica, esto se traduce en una mayor destrucción de exergía y una reducción de la eficiencia de segunda ley. Por esta razón, estrategias como la contención de pasillos fríos y calientes, el sellado de espacios no utilizados y la adecuada gestión del flujo de aire representan medidas efectivas para disminuir pérdidas y mejorar el desempeño del sistema de refrigeración (Díaz et al., 2017; Van Geet & Sickinger, 2024).

Por otra parte, la incorporación del análisis exergético permite complementar la evaluación energética convencional, proporcionando una visión más completa de las ineficiencias presentes en los procesos de enfriamiento. Mientras indicadores como el COP permiten cuantificar el rendimiento energético del sistema, la eficiencia exergética brinda información sobre la calidad de la energía utilizada y el efecto de las irreversibilidades internas. Por ello, el empleo conjunto de ambos enfoques resulta fundamental para identificar oportunidades de mejora y orientar decisiones de diseño y operación mediante criterios termodinámicos más rigurosos (Díaz et al., 2017; Silva-Llanca et al., 2019).

Finalmente, se concluye que el sistema de refrigeración con chiller y agua helada representa la alternativa más conveniente para centros de datos de mediana y gran escala. Aunque los sistemas DX pueden ser adecuados para instalaciones pequeñas por su simplicidad, el chiller ofrece mayor capacidad de expansión, control centralizado y posibilidades de mejorar su desempeño mediante variadores de velocidad, temperaturas de suministro optimizadas y estrategias de economización. Por tanto, el chiller puede considerarse la mejor opción cuando se combina con una correcta gestión del flujo de aire y un control eficiente de bombas y ventiladores. (Van Geet & Sickinger, 2024).

9. Literatura citada

Avelar, V., Azevedo, D., & French, A. (2012). PUE: A comprehensive examination of the metric. The Green Grid. https://datacenters.lbl.gov/sites/default/files/WP49-PUE%20A%20Comprehensive%20Examination%20of%20the%20Metric_v6.pdf

Baghsheikhi, M., & Mohammadi, M. (2023). Experimental investigation of the vapor-compression cooling system in a data center: Energy and exergy analysis. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 148, 9079–9097. https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ese3.129

Bejan, A. (2002). Fundamentals of exergy analysis, entropy generation minimization, and the generation of flow architecture. International Journal of Energy Research, 26, 0–43. https://doi.org/10.1002/er.804

Çengel**, Y. A., & Boles, M. A.** (2015). Termodinámica: Un enfoque de ingeniería (8.ª ed.).

Çengel**, Y. A., Boles, M. A., & Kanoğlu, M.** (2019). *Thermodynamics: An engineering approach* (9th ed.). McGraw-Hill Education.

Díaz, A. J., Cáceres, R., Cardemil, J. M., & Silva-Llanca, L. (2017). Energy and exergy assessment in a perimeter cooled data center: The value of second law efficiency. Applied Thermal Engineering, 124, 820–830.

Díaz, A. J., Cáceres, R., Cardemil, J. M., & Silva-Llanca, L. (2017). Energy and exergy assessment in a perimeter cooled data center: The value of second law efficiency. Applied Thermal Engineering, 124, 820–830. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.06.066

Dincer, I., & Çengel, Y. A. (2001). Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering. Entropy, **3(3), 116–149.** https://www.mdpi.com/1099-4300/3/3/116

Susnjara, S., & Smalley, I. (s.f.). *What is a data center?*_IBM_Think. https://www.ibm.com/es-es/think/topics/data-centers

Rediseño de la red de distribución para incrementar la productividad de los procesos logísticos en la agroindustria de la uva de mesa

Ing. Félix Bernardo Ramos Tipian
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: felix.ramost@unmsm.edu.pe

Dr. Pedro Pablo Rosales López
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: prosalesl@unmsm.edu.pe

Recibido: 04 Septiembre 2026 Aceptado:10 Noviembre 2026

Resumen: El objetivo de la presente investigación fue evaluar el impacto del rediseño de procesos en la productividad de la cadena logística de exportación de uva de mesa. Bajo un enfoque cuantitativo y un diseño documental-transeccional de proyecto factible, se mapearon las operaciones de la cadena en tres fases operativas: acopio, exportación y trámites administrativos. Se concluye que el rediseño de procesos incrementa la productividad global de la cadena al minimizar el recurso tiempo consumido en las operaciones de empaque, almacenamiento refrigerado, logística en depósito temporal y certificación fitosanitaria.

Palabras clave: Simulación por eventos discretos/ Cadena de suministro/ Agroexportación/ Rediseño logístico/ Productividad.

Abstract: The objective of this research was to evaluate the impact of process redesign on the productivity of the table grape export logistics chain. Using a quantitative approach and a cross-sectional, documentary-based feasibility study design, the chain's operations were mapped into three operational phases: collection, export, and administrative procedures. The study concludes that process redesign increases the overall productivity of the chain by minimizing the time spent on packing, refrigerated storage, temporary warehouse logistics, and phytosanitary certification.

Keywords: Discrete event simulation/ Supply chain/ Agricultural export/ Logistics redesign/ Productivity.

Résumé: Cette recherche visait à évaluer l'impact de la refonte des processus sur la productivité de la chaîne logistique d'exportation du raisin de table. À l'aide d'une approche quantitative et d'une étude de faisabilité transversale basée sur des documents, les opérations de la chaîne ont été cartographiées en trois phases opérationnelles : la collecte, l'exportation et les procédures administratives. L'étude conclut que la refonte des processus accroît la productivité globale de la chaîne en minimisant le temps consacré au conditionnement, au stockage frigorifique, à la logistique d'entreposage temporaire et à la certification phytosanitaire.

Mots-clés: Simulation à événements discrets/ Chaîne d'approvisionnement/ Exportation agricole/ Refonte logistique/ Productivité.

1. Introducción

En la última década, el sector agroexportador se ha consolidado como uno de los motores dinámicos de la economía nacional, siendo la exportación de uva de mesa (Vitis vinifera) uno de sus principales exponentes. No obstante, la elevada perecibilidad del producto y los estrictos estándares de calidad e inocuidad impuestos por los mercados internacionales exigen una gestión de la cadena de suministro caracterizada por la máxima eficiencia, precisión temporal y conservación ininterrumpida de la cadena de frío. En este escenario, la competitividad de las empresas agroindustriales depende en gran medida de la optimización de sus procesos logísticos integrales, desde el acopio en campo hasta el embarque marítimo.

A pesar del crecimiento sostenido de los volúmenes de exportación, las operaciones logísticas enfrentan recurrentes ineficiencias operativas. Factores como la variabilidad en los tiempos de respuesta, los cuellos de botella en el procesamiento postcosecha, la saturación en los depósitos temporales y las demoras en las inspecciones fitosanitarias reducen la productividad global del sistema e incrementan el consumo innecesario de recursos (horas-hombre, horas-máquina y tiempos de almacenamiento refrigerado).

Desde la perspectiva teórica, la productividad es conceptualizada por Gutiérrez (2009) como la relación matemática entre los resultados u outputs generados y los recursos e inputs utilizados para alcanzarlos.

En el contexto de la gestión de la cadena de suministro, la variable tiempo, constituye uno de los recursos operacionales más críticos. Como señalan Chopra y Meindl (2007), el rediseño estratégico de los procesos y de la red de distribución permite alinear la capacidad operativa con las exigencias del mercado, eliminando actividades que no agregan valor y minimizando el tiempo de ciclo total (lead time). Asimismo, la literatura especializada destaca la gestión de almacenes y el flujo en planta como componentes co-dependientes esenciales para mantener la continuidad del flujo de productos frescos (Quiroga, 2021; Terán, 2020).

Para intervenir en sistemas complejos de naturaleza estocástica sin alterar la operación real ni incurrir en elevados costos de prueba y error, la simulación por eventos discretos se presenta como una herramienta metodológica clave. Diversos antecedentes en la disciplina (León, 2021; Terán, 2020) demuestran que el modelamiento mediante software especializado permite diagnosticar con exactitud los puntos de estrangulamiento de una red logística y validar propuestas de rediseño bajo entornos controlados.

La presente investigación se justifica por su aporte práctico y metodológico al sector agroexportador. Al desarrollar un modelo de gestión respaldado por simulación por eventos discretos en el software Simio, el estudio proporciona a la industria agroindustrial una herramienta analítica para la toma de decisiones informada, permitiendo reducir costos logísticos y preservar la vida útil de la uva de mesa en el mercado internacional.

El objetivo general de la presente investigación es: Evaluar el impacto del rediseño de procesos en la productividad de la cadena logística agroindustrial para la exportación de uva de mesa.

Considerando la siguiente hipótesis: El rediseño de procesos incrementa la productividad en los procesos logísticos, la gestión de almacenes y el abastecimiento en el sector agroindustrial.

Específicamente, se intervendrá en el acopio, reduciendo el tiempo de ciclo en las operaciones de post-cosecha, empaquetado, almacenaje y transporte interno. También la fase de exporta-

ción, reduciendo los tiempos de permanencia en depósitos temporales y operaciones portuarias. Y los procedimientos administrativos e inspecciones fitosanitarias, logrando una mayor agilización en la obtención de vistos buenos y certificaciones de exportación. En la Figura 1 se muestra la cadena de suministro completa.

Figura N°1: Cadena de suministro de la uva



Fuente: Elaboración propia

2. Material y métodos

2.1. Cadena de frío

De acuerdo con Hu et al. (2025), la inversión en plataformas de trazabilidad para cadenas de suministro no solo incrementa la transparencia del proceso logístico, sino que fortalece la competitividad de los actores involucrados al mitigar riesgos operativos y optimizar las decisiones de flete. Por lo tanto, la visibilidad digital en el eslabón marítimo se consolida como un pilar fundamental para asegurar la integridad de la cadena de frío frente a la variabilidad de los tiempos de tránsito y la gestión de la capacidad portuaria. Para Rasna et al. (2025) la logística agroexportadora y la gestión de la cadena de frío se relacionan al abordar la optimización del transporte terrestre mediante algoritmos de ruteo (como Dijkstra) enfocados en la minimización de los tiempos de tránsito. En el contexto de productos agrícolas perecederos, la reducción del tiempo de viaje entre los fundos, las plantas de empaque (packings) y los terminales portuarios es determinante para prevenir la degradación térmica de la fruta, salvaguardar su vida útil y mitigar la variabilidad en las horas de arribo Para Petrillo et al.(2025) la logística agroexportadora y la gestión de la cadena de frío se relacionan al demostrar cómo la digitalización del flujo de trabajo —a través de tecnologías como RFID, códigos de barras y blockchain— optimiza la trazabilidad y la eficiencia operativa desde el campo hasta la exportación. La caracterización integral de las cadenas de valor frutícolas y el fortalecimiento de la gestión en las unidades de producción agropecuaria resultan fundamentales para asegurar la sostenibilidad operacional, la eficiencia tecnológica y la competitividad del sector primario.

La caracterización socioeconómica y técnica de los productores en las cadenas frutícolas permite diagnosticar la estructura de los eslabones de origen, identificando brechas operativas y de valor desde la fase del cultivo (Fatima, 2016). El modelado cuantitativo de la eficiencia en la gestión tecnológica de las empresas agrícolas aporta herramientas analíticas para optimizar la adopción de innovaciones y resguardar la estabilidad económica del predio (Vovk, et al., 2025). El fortalecimiento de la gestión administrativa y la articulación asociativa promueve una mejor gobernanza y coordinación logística entre los productores (Merino, et al., 2024), lo

cual se complementa con la evaluación continua del desempeño operacional y de sostenibilidad para consolidar cadenas agroalimentarias adaptables y de alto rendimiento (Ortiz, et al., 2025).

2.2. Simulación

La aplicación de la simulación de procesos basada en distribuciones de probabilidad ha demostrado ser una herramienta robusta para la identificación de cuellos de botella y el incremento de la productividad en líneas de procesamiento. En este sentido, Abd El Maaboud et al. (2023) evidenciaron que el modelado y simulación de escenarios alternativos permite reconfigurar el flujo operacional y optimizar la capacidad instalada, logrando incrementos sustanciales en la tasa de producción diaria y una reducción significativa en los tiempos operacionales requeridos. La utilización de la Simulación por Eventos Discretos (DES) como Sistema de Soporte a la Decisión (DSS) se justifica metodológicamente por su capacidad única para capturar la estocasticidad y la dinámica estacional propias de la cadena logístico-portuaria y de frío en la agroexportación. A diferencia de los métodos deterministas tradicionales, la DES permite modelar con precisión la variabilidad real en los tiempos de arribo, procesamiento y enfriamiento de la fruta, ofreciendo un entorno virtual seguro para la evaluación de escenarios what-if sin comprometer la operación física durante la fase crítica de aceleración productiva o ramp-up (Melnychuk et al., 2025). De este modo, el enfoque DES se consolida como una herramienta rigurosa para el rediseño de procesos, orientada a identificar cuellos de botella, optimizar la *eficiencia global de los equipos* y reducir los tiempos de permanencia a temperatura ambiente, salvaguardando así la calidad térmica y comercial del producto perecedero.

2.3. Metodología de investigación

La investigación corresponde a un proyecto factible de enfoque cuantitativo, orientado a resolver problemas operacionales reales en el sector agroindustrial mediante la formulación de un modelo de gestión logística. El diseño de investigación fue documental y de campo, con un corte transeccional. Para la caracterización y levantamiento de los procesos reales, se aplicaron técnicas de observación directa en campo, entrevistas semiestructuradas con el personal operativo y revisión documental de los registros de tiempos.

La Unidad de Análisis, estuvo constituida por el área de almacén y la gestión operacional del flujo logístico de exportación de uva de mesa (Vitis vinifera), integrando el nodo de producción, la planta procesadora y el puerto de embarque. Para determinar la población y muestra, se empleó un muestreo censal sobre una población finita de 30 corridas (réplicas) de simulación por cada escenario del sistema. El tamaño muestral de 30 réplicas fue determinado por criterios de normalidad estadística y validado operativamente.

Para alimentar y calibrar el modelo de simulación, se emplearon las siguientes técnicas e instrumentos.

- Observación directa y toma de tiempos: Levantamiento in situ de las duraciones operacionales en las actividades de postcosecha, empaquetado, almacenamiento y despacho.
- Entrevistas semiestructuradas: Aplicadas a los jefes de planta, responsables de logística y gestores aduaneros para identificar los flujos informativos y cuellos de botella.

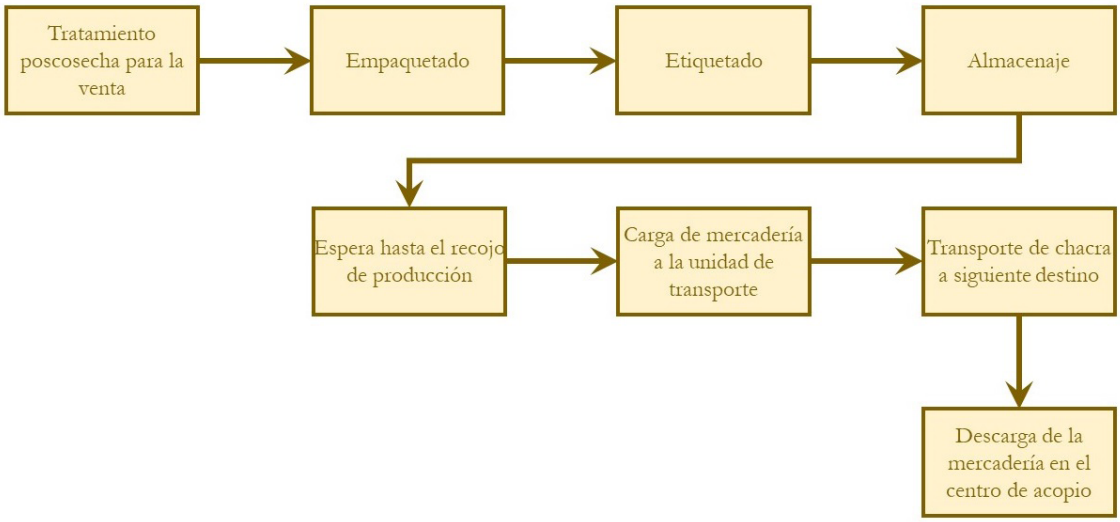
- Análisis documental: Revisión de manifiestos de carga, guías de remisión, reportes de temperatura de cámaras frigoríficas y registros de trámites aduaneros/fitosanitarios.
- Simulación de procesos: Utilizada como técnica principal para modelar la estocasticidad del sistema real a través de variables aleatorias parametrizadas.

2.4. Diseño del modelo

La eficiencia en las terminales portuarias de contenedores constituye un factor determinante en la competitividad del comercio agroexportador, pues las demoras e ineficiencias operativas en el nodo de embarque incrementan los costos logísticos y amenazan la continuidad de la cadena de frío (Ibeh, 2025). El modelado cuantitativo, la validación estocástica y el análisis predictivo constituyen la base matemática indispensable para alimentar entornos de simulación por eventos discretos (DES) y respaldar la toma de decisiones en sistemas operativos dinámicos. La evaluación estadística rigurosa de generadores de secuencias y números pseudoaleatorios garantiza la aleatoriedad e independencia de los insumos estocásticos, evitando sesgos al replicar la variabilidad de procesos reales (Rivas, 2017). La formulación de tendencias matemáticas mediante curvas logísticas validadas con pruebas no paramétricas y criterios de ajuste (Malindzakova, 2025), combinada con metodologías objetivas para el pronóstico de indicadores clave de rendimiento (Fedorchak, et al., 2025), permite estimar con precisión el comportamiento de la variable de estudio. Esta caracterización cuantitativa se integra en el análisis de escenarios, para mitigar riesgos en cadenas de suministro expuestas a volatilidad e incertidumbre (Makedon, et al., 2025).

El diseño del modelo de simulación por eventos discretos se desarrolló en el software Simio, estructurando la cadena de suministro en tres fases fundamentales. En la Figura 2 se muestra la Fase 1 de Acopio.

Figura N°2: Fase 1 de acopio



Fuente: Elaboración propia

En la Fase 1, que comprende la Red de acopio, desde el nodo de producción a planta. Se mapeó el flujo físico del producto desde su cosecha hasta la salida de planta refrigerada:

- Postcosecha: Enfriamiento rápido mediante túneles de aire forzado y selección de racimos.
- Empaquetado y etiquetado: Envasado en empaques primarios, control de peso, rotulado y codificación con barras para trazabilidad.
- Almacenaje y recojo: Conservación en cámaras de mantenimiento térmico, control de inventarios y transporte interno.
- Carga, transporte y descarga: Estiba en contenedores refrigerados (reefers), traslado terrestre hacia el punto de acopio intermediario e inspección de recepción.

En la Fase 2, que comprende la Red de exportación, es decir los nodos de salida. Se mapeó el flujo logístico del contenedor hasta su embarque marítimo:

- Inspección sanitaria y provisión del contenedor reefer.
- Llenado y consolidación de la carga.
- Transporte terrestre al depósito temporal.
- Recepción, resguardo en depósito temporal y posterior transferencia a la zona portuaria.
- Operación de estiba y embarque en nave marítima.

En la Fase 3, que comprende la Gestión administrativa y fitosanitaria. Se mapeó la secuencia paralela de tramitaciones requeridas para la liberación legal de la carga:

- Inspección fitosanitaria en lugar de producción y en cámaras frigoríficas por parte del Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA).
- Tramitación de certificados de origen y cumplimiento de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA).
- Emisión y rectificación de la Declaración Aduanera de Mercancía (DAM).
- Gestión y obtención del visto bueno en el Conocimiento de Embarque (Bill of Lading - B/L).

Los datos cuantitativos generados en las 30 réplicas del software Simio fueron procesados mediante el paquete estadístico IBM SPSS Statistics. El procedimiento de análisis se ejecutó en tres etapas:

- Estadística descriptiva: Cálculo de medidas de tendencia central (media y mediana) y dispersión (desviación estándar, varianza, mínimos y máximos) para los tiempos de ciclo en cada fase.
- Pruebas de normalidad: Evaluación de la distribución de los datos mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov (con corrección de Lilliefors). Se fijó un nivel de significación de alpha = 0.05.

- Estadística inferencial (Prueba de hipótesis): Al verificarse la distribución normal de las variables ($p > 0.05$), se aplicó la prueba t de Student para una muestra. Las medias observadas en la simulación se contrastaron contra los valores críticos de referencia del sistema previo al rediseño: Acopio: u = 270.00 horas. Exportación: u = 250.00 horas. Trámites: u = 160.00 horas.

El criterio de decisión para la aceptación de las hipótesis de reducción de tiempo e incremento de productividad se fundamentó en un valor $p < 0.05$

3. Resultados

A continuación, se presentan los hallazgos derivados del modelo de simulación por eventos discretos desarrollado en el software Simio, así como la evaluación inferencial realizada mediante IBM SPSS Statistics.

3.1. Tiempos promedio operacionales

La simulación del proceso logístico estructurado en las tres fases arrojó los valores de tiempo promedio que a continuación se exponen.

Fase de acopio

El análisis del tiempo consumido en el nodo de producción y planta procesadora registró un tiempo total promedio de 261.38 horas (10.89 días). La mayor carga horaria se concentra en las etapas de postcosecha y almacenaje, como se puede apreciar en la Tabla 1.

Tabla N°1: Tiempo promedio en la fase de acopio

Elemento del proceso	Tiempo promedio (Horas)	% del Tiempo total de acopio
Postcosecha (enfriamiento y selección)	120.33	46.04%
Almacenaje (refrigeración y control)	81.93	31.34%
Empaquetado (envasado y calidad)	19.87	7.60%
Etiquetado (identificación y Código de Barras)	19.8	7.58%
Transporte refrigerado	7.4	2.83%
Recojo	7.13	2.73%
Descarga e inspección	2.49	0.95%
Carga en contenedores	2.43	0.93%
Total Fase de acopio	**261.38**	**100.00%**

Fuente: Elaboración propia - Simio Software

Fase de exportación

El nodo de exportación acumuló un tiempo total promedio de 232.89 horas (9.70 días). La gestión documentaria aduanera e intrapuertaria representó el principal cuello de botella de esta fase, como se puede apreciar en la Tabla 2.

Tabla N°2: Tiempo promedio en la fase de exportación

Elemento del proceso	Tiempo promedio (Horas)	% del Tiempo total de exportación
Trámites documentarios	133.27	57.22%
Logística en depósito temporal	74.67	32.06%
Operación portuaria	9.37	4.02%
Llenado de contenedor	7.83	3.36%
Provisión de contenedor	4.1	1.76%
Transporte a depósito temporal	3.65	1.57%
Total Fase de exportación	**232.89**	**100.00%**

Fuente: Elaboración propia - Simio Software

Trámites administrativos y fitosanitarios

Los procedimientos documentarios previos al embarque requirieron un promedio de 145.97 horas. Las certificaciones de origen y las inspecciones por parte de SENASA representaron la mayor demanda de tiempo, como se puede apreciar en la Tabla 3.

Tabla N°3: Tiempo promedio en trámites

Elemento del trámite	Tiempo promedio (Horas)	% del Tiempo total de exportación
Certificado de origen y otros certificados	48.1	32.95%
Inspecciones fitosanitarias (Lugar de producción)	35.3	24.18%
Inspecciones fitosanitarias (Refrigeración)	30.67	21.01%
Declaración Aduanera de Mercancía (DAM)	23.9	16.37%
Visto Bueno del Conocimiento de Embarque (B/L)	8	5.48%
Total trámites administrativos	**145.97**	**100.00%**

Fuente: Elaboración propia - Simio Software

Verificación de supuestos

Para contrastar la hipótesis general sobre el incremento de la productividad a través de la reducción del recurso tiempo, se aplicó análisis estadístico inferencial a los datos recolectados en las 30 réplicas.

Prueba de normalidad

Se evaluó la distribución de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, con corrección de Lilliefors, como se puede ver en la Tabla 4.

Tabla N°4: Prueba de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov[a]		
	Estadístico	**gl**	**Sig.**
Acopio	0.105	30	0.200*
Trámite	0.073	30	0.200*
Exportación	0.134	30	0.182
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.			
a. Corrección de significación de Lilliefors			

Fuente: Elaboración propia – IBM SPSS Statistics

Al obtenerse valores p superiores al nivel de significación estándar, es decir alpha = 0.05, se confirmó el supuesto de normalidad en las tres variables, justificando el uso de pruebas paramétricas.

Para la comprobación de hipótesis se utiliza la prueba t de Student para una muestra. Se contrastaron las medias observadas en la simulación frente a los valores críticos teóricos de referencia previos al rediseño, la prueba se muestra en la Tabla 5.

Tabla N°5: Prueba t student para una muestra

	Valor de prueba	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
						Inferior	**Superior**
Acopio	270	-3.176	29	0.004	-8.61233	-14.1577	-3.0669
Trámite	160	-6.962	29	0.000	-14.033	-18.16	-9.91
Exportación	250	-6.029	29	0.000	-17.112	-22.9167	-11.3073

Fuente: Elaboración propia – IBM SPSS Statistics

El resultado del acopio, dado que $p < 0.05$, existe evidencia estadísticamente significativa para afirmar que el tiempo promedio de acopio es inferior al valor crítico de 270 horas. Para los trámites, al ser $p < 0.001$, se rechaza la hipótesis nula, demostrando una reducción significativa del tiempo dedicado a gestiones aduaneras y fitosanitarias. En el caso de la exportación, el contraste confirma $p < 0.001$, que las mejoras aplicadas a la red de exportación disminuyen el tiempo del proceso de forma estadísticamente significativa.

Consolidado del impacto en la productividad operacional

Considerando la definición operacional de productividad como la relación entre los resultados alcanzados y los recursos empleados, la reducción del insumo tiempo directamente incrementa la eficiencia de la cadena logística agroindustrial, en la Tabla 6 se muestra un resumen de la inferencia.

Tabla N°6: Resumen de comprobación de hipótesis

Proceso logístico	Valor promedio obtenido (h)	Valor crítico de referencia (h)	Reducción de tiempo (%)	Decisión estadística
Proceso de acopio	261.39	270	3.19%	Hipótesis aceptada ($p < 0.05$)
Fase de exportación	232.89	250	6.84%	Hipótesis aceptada ($p < 0.01$)
Trámites documentarios	145.97	160	8.77%	Hipótesis aceptada ($p < 0.01$)

Fuente: Elaboración propia – IBM SPSS Statistics

4. Discusión

Los hallazgos obtenidos a través de la simulación por eventos discretos confirman que el rediseño de procesos en la red logística agroindustrial ejerce un impacto directo y positivo sobre la productividad global. Operacionalizando la productividad bajo el enfoque teórico de Gutiérrez (2009), donde está se define como el cociente entre resultados alcanzados e insumos utilizados, la optimización del recurso tiempo, es decir horas de proceso, permite elevar la eficiencia del sistema sin comprometer los estándares de calidad e inocuidad exigidos en la exportación de uva de mesa.

En la fase de acopio, la reducción es del 3.19%. Las actividades de postcosecha de 120.33 h y almacenaje 81.93 h, representan el 77.38% del tiempo total del nodo de producción. La necesidad biológica de preservar la cadena de frío para evitar la descomposición del producto limita reducciones drásticas en este tramo. Sin embargo, la reorganización de las tareas de recojo, carga y flujo intraplantas logró una disminución estadísticamente significativa del tiempo promedio de 270.00 h a 261.39 h con $p = 0.004$. Este hallazgo concuerda con lo planteado por Chopra y Meindl (2007), quienes sostienen que el rediseño de una red de distribución debe alinearse estrechamente con las características del producto y las exigencias del servicio al cliente.

En la fase de exportación, la reducción es de 6.84%. En el nodo de exportación, la logística en depósito temporal de 74.67 h y la tramitación documentaria de 133.27 h, constituyeron los principales retardadores del flujo. El rediseño redujo la media operativa de 250.00 h a 232.89 h con $p < 0.001$. Esta mejora mitiga los riesgos de sobrestadía en depósitos y optimiza la rotación de contenedores refrigerados.

En los trámites administrativos y fitosanitarios, la reducción es de 8.77% de reducción. Esta fase registró el mayor beneficio relativo. La reducción del tiempo promedio de 160.00 h a 145.97 h con $p < 0.001$, evidencia que la agilización de flujos de información, tales como las inspecciones de SENASA, la obtención de certificados de origen y el visto bueno del Conocimiento de Embarque B/L, representa una vía altamente efectiva para incrementar la productividad sin requerir inversiones cuantiosas en capital intensivo.

5. Conclusiones

En correspondencia con los objetivos formulados y los resultados de las pruebas inferenciales, se concluye lo siguiente.

Como *conclusión general*, se demostró que el rediseño de procesos incrementa la productividad en la cadena logística agroindustrial mediante la reducción sistemática de los tiempos de ciclo en los nodos de acopio, gestión de almacenes y exportación, validando la hipótesis general de la investigación.

En cuanto al *impacto en el acopio*, el rediseño de la red de acopio incrementó la productividad operacional al lograr una reducción del 3.19% en el tiempo total del proceso, pasando de un valor crítico de 270.00 h a un promedio de 261.39 h, con $p = 0.004$.

Considerando el *impacto en la exportación*, el rediseño de las actividades en el nodo de exportación elevó la productividad de la cadena al disminuir la carga horaria en un 6.84%, de un valor crítico de 250.00 h a un promedio de 232.89 h, con $p < 0.001$.

Para el *impacto en los trámites documentarios*, la reingeniería de las gestiones administrativas y fitosanitarias previas al embarque generó el mayor incremento de eficiencia, reduciendo los tiempos en un 8.77%, de un valor crítico de 160.00 h a un promedio de 145.97 h, con $p < 0.001$.

Con base en los hallazgos del estudio, se plantean las siguientes recomendaciones:

Ampliación de cobertura geográfica, es decir, reproducir la metodología y el modelo de simulación en otros centros y valles de producción agroindustrial del país para contrastar la efectividad del rediseño bajo distintas condiciones regionales.

Diversificación de productos agroexportadores, que implica aplicar el marco de rediseño logístico a otros cultivos de exportación, tales como palta Hass, arándanos o mango, adaptando las restricciones térmicas y fitosanitarias particulares de cada producto.

Estudios de infraestructura pública, como promover investigaciones orientadas al análisis de la infraestructura vial y portuaria, identificando el impacto de los factores externos sobre los costos e indicadores de tiempo de la cadena agroexportadora nacional.

6. Literatura citada

Abd El Maaboud, Mahmoud & Kassem, Sally & Elatriby, Sherif & Fahim, Irene. (2023). Implementation of process optimization to maximize line productivity in pharmaceutical industries. SN Applied Sciences. 5. 10.1007/s42452-023-05598-z.

Chopra, S., & Meindl, P. (2007). Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation (3rd ed.). Pearson Prentice Hall.

Fatima, G., Khan, I. & Buerkert, A. (2016). Socio-economic characterisation of date palm (Phoenix dactylifera L.) growers and date value chains in Pakistan. SpringerPlus. 5. 10.1186/s40064-016-2855-4.

Fedorchak, O., Moskvyak, Y., Kucher, A., Kniaz, S. (2025). Ensuring the objectivity of the technology for forecasting business process indicators in the field of e-commerce. Technology Audit and Production Reserves, 2 (4 (82)), 14–23. https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.326211

Gutiérrez, H. (2009). Calidad total y productividad (3.ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Hu, J., Tang, X., Wang, Y., Ma, C., & Chen, L. (2025). Impacts of fairness concern and non-linear production cost on investment strategy for blockchain-based shipping supply chain. Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research, 20(1), 1-22. https://doi.org/10.3390/systems13090756

Ibeh, F. (2025). Comparative analysis of container ports performance in West Africa. Springer. Journal of Shipping and Trade 10:13 https://doi.org/10.1186/s41072-025-00202-6

León, R. (2021). Modelo de ruteo con ventanas de tiempo para la distribución de productos perecibles [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].

Makedon, V., Myachin, V., Kuriacha, N., Chaika, Yu., & Koptilyi, D. (2025). Development of strategic management of a corporation through the implementation of scenario analysis. Scientific Bulletin of Mukachevo State University. Series "Economics", 12(2), 135-146. doi: 10.52566/msu-econ2.2025.135.

Malindzakova, M., & Izarikova, G. (2025). Assessment and Selection of Mathematical Trends to Increase the Effectiveness of Product Sales Strategy. Applied Sciences, 15(9), 4695. https://doi.org/10.3390/app15094695

Melnychuk, O., Baum, J., Göppert, A., Schmitt, R. H., & Tolio, T. (2025). Pit-Stop Manufacturing: Decision Support for Complexity and Uncertainty Management in Production Ramp-Up Planning. Applied Sciences, 15(3), 1254. https://doi.org/10.3390/systems13050393

Merino, L. G., Vásquez, E. S., Quinde, L. E., y Paredes, O. B. (2024). Gestión administrativa y fortalecimiento de asociaciones agrícolas en La Troncal, Ecuador. Revista Venezolana De Gerencia, 29(Especial 12), 1448-1460. https://doi.org/10.52080/rvgluz.29.e12.34

Ortiz, R. A., Romero, B. L., Gárate, J. C., y Sarmiento, J. A. (2025). Sostenibilidad de emprendimientos agrícolas del Cantón la Troncal, Ecuador. Revista Venezolana De Gerencia, 30(109), 381-395. https://doi.org/10.52080/rvgluz.30.109.24

Petrillo A, Rehman M, De Felice F. (2025). Optimizing coffee supply chain transparency and traceability through mobile application. European Journal of Innovation Management, Vol. 28 No. 11 pp. 267–300. doi: https://doi.org/10.1108/EJIM-01-2025-0088

Quiroga, M. (2021). Simulación por eventos discretos para la optimización de procesos logísticos en puntos de venta [Tesis de titulación, Universidad de Lima].

Rasna, Matdoan, M. R. I., Dewi, N. K., Ariffien, A., & Lamsir, S. (2025). Implementation of Dijkstra and Ant Colony Algorithms for Web-based Shortest Route Search for LPG Gas Distribution. International Journal of Engineering, Science and Information Technology, 5(2). https://ijesty.org/index.php/ijesty/article/view/805

Rivas, K., Lupera, P. y Tipantuña, Ch. (2017). Evaluación estadística de generadores de secuencias pseudoaleatorias para aplicaciones de dispersión de energía. MASKAY, 7(1), 1-5. https://doi.org/10.24133/maskay.v7i1.334

Terán, J. (2020). Optimización de la red de distribución para la industria de insumos plásticos mediante programación matemática [Tesis de titulación, Universidad de Guayaquil].

Vovk, M., Zubro, T., Omarov, E., Kolomiiets, B., & Hnydiuk, V. (2025). Modelling the efficiency of technological management of agricultural enterprises in economic security. Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal, 11(1), 262–287. https://doi.org/10.51599/are.2025.11.01.10

ECONOMÍA Y GESTIÓN

Implementación de modelo de economía circular de residuos agroforestales en empresas agroexportadoras en territorio peruano

Ing. Carmen Luz Rojas Suárez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: carmen.rojas1@unmsm.edu.pe

Recibido: 12 Agosto 2026 Aceptado:10 Octubre 2026

Resumen: La presente investigación propone un modelo de economía circular orientado al aprovechamiento de residuos agroforestales generados por empresas agroexportadoras del Perú, con énfasis en el subsector de la palta. El estudio adopta un enfoque cuantitativo de tipo prospectivo y utiliza una literatura con técnicas de revisión sistemática, análisis sectorial y modelamiento prospectivo para evaluar el potencial de valorización de biomasa residual mediante tecnologías como compostaje, biofertilizantes, pirólisis y biorrefinería. Se analizaron como variables independientes la valorización de biomasa, la capacidad tecnológica y el Índice de Sostenibilidad Circular (ISC), mientras que la reducción de costos operativos, la huella de carbono y el retorno sobre la inversión (ROI) constituyeron las variables dependientes. Los escenarios simulados para el período 2025–2030 sugieren que la valorización de biomasa podría incrementarse del 5% al 72%, mientras que el ISC alcanzaría 88 puntos sobre 100. Asimismo, se proyecta una reducción de 35,2% en los costos operativos y una disminución del 61% en la huella de carbono. El análisis de correlación aplicado a los escenarios modelados evidenció una asociación positiva elevada entre la implementación de estrategias circulares y los indicadores de desempeño de la cadena de suministro. Se concluye que la adopción progresiva de un modelo de economía circular basado en residuos agroforestales constituye una alternativa técnicamente viable para fortalecer la sostenibilidad y competitividad del sector agroexportador peruano.

Palabras clave: Economía circular / Biomasa agroforestal / Cadena de suministro / Valorización de residuos / Sostenibilidad agroindustrial

Abstract: This research proposes a circular economy model focused on utilizing agroforestry waste generated by Peruvian agro-export companies, with an emphasis on the avocado subsector. The study adopts an applied quantitative approach and uses systematic literature review, sectoral analysis, and prospective modeling techniques to evaluate the potential for valorizing residual biomass through technologies such as composting, biofertilizers, pyrolysis, and biorefinery. Biomass valorization, technological capacity, and the Circular Sustainability Index (CSI) were analyzed as independent variables, while the reduction of operating costs, carbon footprint, and return on investment (ROI) constituted the dependent variables. The simulated scenarios for the period 2025–2030 suggest that biomass valorization could increase from 5% to 72%, while the Supply Chain Performance Index (SCI) would reach 88 out of 100. Likewise, a 35.2% reduction in operating costs and a 61% decrease in the carbon footprint are projected. The correlation analysis applied to the modeled scenarios revealed a strong positive association between the implementation of circular strategies and supply chain performance indicators. It is concluded that the progressive adoption of a circular economy model based on agroforestry waste constitutes a technically viable alternative for strengthening the sustainability and competitiveness of the Peruvian agro-export sector.

Keywords: Circular economy / Agroforestry biomass / Supply chain / Waste valorization / Agroindustrial sustainability

Résumé: Cette recherche propose un modèle d'économie circulaire axé sur la valorisation des déchets agroforestiers produits par les entreprises agro-exportatrices péruviennes, en particulier dans le secteur de l'avocat. L'étude adopte une approche quantitative appliquée et utilise une revue systématique de la littérature, une analyse sectorielle et des techniques de modélisation prospective pour évaluer le potentiel de valorisation de la biomasse résiduelle grâce à des technologies telles que le compostage, les biofertilisants, la pyrolyse et le bioraffinage. La valorisation de la biomasse, la capacité technologique et l'indice de durabilité circulaire (IDC) ont été analysés comme variables indépendantes, tandis que la réduction des coûts d'exploitation, de l'empreinte carbone et le retour sur investissement (RSI) ont constitué les variables dépendantes. Les scénarios simulés pour la période 2025-2030 suggèrent que la valorisation de la biomasse pourrait passer de 5 % à 72 %, tandis que l'indice de performance de la chaîne d'approvisionnement (IPCA) atteindrait 88 sur 100. De même, une réduction de 35,2 % des coûts d'exploitation et une diminution de 61 % de l'empreinte carbone sont projetées. L'analyse de corrélation appliquée aux scénarios modélisés a révélé une forte association positive entre la mise en œuvre de stratégies d'économie circulaire et les indicateurs de performance de la chaîne d'approvisionnement. Il en ressort que l'adoption progressive d'un modèle d'économie circulaire fondé sur les déchets agroforestiers constitue une alternative techniquement viable pour renforcer la durabilité et la compétitivité du secteur agro-exportateur péruvien

Mots-clés: Économie circulaire / Biomasse agroforestière / Chaîne d'approvisionnement / Valorisation des déchets / Durabilité agroindustrielle

1. Introducción

En el contexto global de transición hacia modelos productivos sostenibles, la economía circular emerge como paradigma estratégico que propone rediseñar los sistemas industriales para eliminar residuos y mantener los materiales en uso durante el mayor tiempo posible (Ellen MacArthur Foundation, 2021). Este enfoque contrasta con el modelo lineal tradicional de "extraer-fabricar-desechar", que ha generado crecientes presiones ambientales y económicas en todos los sectores productivos, particularmente en la agroindustria de exportación, donde los flujos de residuos son significativos y, en gran medida, subutilizados (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2022). La agroindustria global produce anualmente cerca de 1 400 millones de toneladas de residuos orgánicos, de los cuales solo una fracción mínima recibe tratamiento o valorización efectiva (Food and Agriculture Organization [FAO], 2023).

El sector agroexportador peruano ha experimentado un crecimiento promedio anual de 13.8% desde el año 2000, consolidándose como uno de los pilares de la economía nacional (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2025). Este crecimiento sostenido implica, de manera proporcional, un incremento en la generación de biomasa residual —cáscara, semilla y restos de poda—, cuyo volumen supera las 142 000 toneladas métricas anuales (Servicio Nacional de Sanidad Agraria [SENASA], 2024).

A nivel conceptual, la economía circular en sistemas agroforestales ha sido respaldada por importantes marcos institucionales internacionales. El BID (2022) promueve modelos de eco-

nomía circular basados en residuos agroforestales como mecanismos para evitar emisiones de CO2, fomentar empleo local y aumentar vínculos con cadenas de valor regionales. Por su parte, la Comisión Europea (2020), a través del Pacto Verde Europeo y el Plan de Acción de Economía Circular, establece que la integración de principios circulares en cadenas de suministro agroindustriales puede generar ahorros de hasta €600 000 millones anuales en la economía europea, evidenciando el potencial económico de estas transformaciones. En el plano metodológico, la Ellen MacArthur Foundation (2021) ha desarrollado indicadores estandarizados para medir el grado de circularidad, los cuales proveen herramientas cuantitativas aplicables a empresas agroexportadoras.

En el contexto peruano, se presenta por ejemplo que las principales empresas agroexportadoras de palta —Camposol S.A., Danper Trujillo S.A.C., Virú S.A. y Complejo Agroindustrial Beta S.A.— concentran más del 65% de las exportaciones nacionales y cuentan con certificaciones de sostenibilidad alineadas a estándares internacionales como Global G.A.P., BASC y la Iniciativa de Sostenibilidad de Frutas y Verduras (SIFAV) (Camposol S.A., 2023). Sin embargo, la gestión de residuos agroforestales en estas empresas continúa siendo predominantemente lineal, con disposición en rellenos sanitarios o como compost de bajo valor agregado, sin aprovechar el potencial de la biorrefinería integrada (Soto-Vargas et al., 2023).

Estudios recientes confirman que la integración de prácticas circulares en cadenas de suministro puede mejorar los beneficios operativos de una empresa hasta en un 60%, reduciendo simultáneamente los costos de disposición de residuos y los pasivos ambientales asociados (McKinsey Global Institute, 2022). En el sector agroindustrial específicamente, Dyjakon et al. (2022) documentaron las propiedades físico-químicas de las semillas de frutas exóticas, incluido el aguacate, tras procesos de torrefacción, confirmando su viabilidad como biocombustibles sólidos de alta densidad energética. En Perú, la adopción de estas tecnologías se encuentra en una fase incipiente, pero con acelerada curva de crecimiento, impulsada por las exigencias regulatorias del mercado europeo (Reglamento CBAM, EU Green Deal) y por incentivos de la cooperación internacional (BID, 2022; FAO, 2023).

Desde una perspectiva normativa nacional, el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2020) establece en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) compromisos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero al 2030, que incluyen la gestión sostenible de residuos orgánicos agroindustriales como mecanismo de mitigación. La articulación entre marco normativo, incentivo económico y capacidad tecnológica es condición necesaria para la implementación exitosa de modelos circulares a escala empresarial.

La relevancia del estudio radica en que proporciona evidencia teórica y prospectiva para apoyar la toma de decisiones de inversión, formulación de políticas sectoriales y gestión ambiental en el sector agroexportador peruano. Es importante definir los problemas que implica aplicar una economía circular para las empresas agroexportadoras en territorio peruano, para ello se requiere identificar como base el problema general, de esta manera nos conlleva a formular problemas específicos relacionado al tema de estudio:

Identificación del problema:

- Las exigencias de mercados internacionales
- Normativa de sostenibilidad mediante aprovechamiento de residuos

- Impacto de cambio climático

Formulación de problemas general

PG: ¿Cómo influye la implementación de un modelo de economía circular basado en el aprovechamiento de residuos agroforestales en la optimización de la cadena de suministro de las empresas agroexportadoras del Perú?

Formulación de los problemas específicos

PE1: ¿Cuál es la situación actual de generación y aprovechamiento de biomasa residual en las empresas agroexportadoras del Perú?

PE2: ¿Qué tecnologías de valorización presentan mayor viabilidad técnica, económica y ambiental para el aprovechamiento de residuos agroforestales?

PE3: ¿Cuál es el impacto potencial de la implementación de economía circular sobre los indicadores ambientales y operativos de la cadena de suministro?

Asimismo, planteamos los siguientes objetivos generales y objetivos específicos

Objetivos general

OG: Desarrollar un modelo de economía circular basado en el aprovechamiento de residuos agroforestales para optimizar la cadena de suministro de las empresas agroexportadoras del Perú.

Objetivos específicos

OE1: Diagnosticar la situación actual de la generación y gestión de biomasa residual en el sector agroexportador peruano.

OE2: Identificar que tecnologías de valorización con mayor viabilidad técnica, económica y ambiental para el aprovechamiento de residuos agroforestales.

OE3: Diseñar un modelo de economía circular orientado a minimizar los impactos ambientales y mejorar el desempeño operativo de la cadena de suministro.

2. Metodología

La presente investigación cuenta con un enfoque cuantitativo y descriptivo. Se utilizó la metodología PICOC para la revisión sistemática y datos de Agrodata (MIDAGRI).

2.1. Palabras clave especializadas

La metodología PICOC permite delimitar con precisión los componentes esenciales del estudio. Mediante palabras clave nos guiara a construir la ecuación para el tema de investigación, de tal modo se consigue armar la estructura para formularlo en la investigación, en la tabla N°1 se detalla lo siguiente:

Tabla N°1: Estrategias del acrónimo PICOC

Código	Componente	Descripción
P	Población	Empresas agroexportadoras en Perú
I	Intervención	Implementación de modelo de economía circular con tecnologías
C	Comparación	Situación actual de gestión lineal de residuos (baseline 2020) vs modelo circular (2030)
O	Resultado	Reducción de residuos y generación de valor
C	Contexto	Marco normativo peruano: NDC-MINAM, D.L. 1278, ISO 14001 y estándares Global G.A.P.

Fuente: Elaboración propia

2.2. Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios garantizan la validez interna de la revisión sistemática al definir, con precisión y transparencia, qué literatura científica fue considerada pertinente para la construcción del marco teórico y empírico de la investigación.

En la tabla N°2, se presenta las consideraciones y criterios a contemplar para la inclusión al tema de investigación, asimismo aquellos que revisiones de exclusión los cuales indican documentos incompletos o no precisan con respecto a la información en búsqueda.

Tabla N°2: Criterios de inclusión y exclusión –revisión sistemática de literatura

Código	Criterio	Descripción
INCLUSIÓN	CI-1 Período de publicación	Documentos publicados entre 2020 y 2026
	CI-2 Tipo de documento	Artículos científicos originales, revisiones sistemáticas, tesis doctorales indexadas, reportes técnicos de organismos internacionales (FAO, BID, WRI)
	CI-3 Nivel de evidencia	Estudios con diseño metodológico explicito, muestra definida y resultados cuantificables o cualitativos validados (no opiniones informales ni resúmenes de conferencia sin datos)
	CI-4 Fuentes institucionales	Informes, reportes estadísticos y planes estratégicos de instituciones oficiales: ADEX, SENASA, PROMPERU, MIDAGRI, MINAM, BID, FAO
EXCLUSIÓN	CE-1 Irrelevancia temática	Documentos que no aborden directamente con alguna de las dimensiones de las variables de estudio
	CE-2 Sin acceso a texto repositorio	Documentos cuyos textos completos no estén disponibles en repositorios abiertos ni a través de acceso institucional
	CE-3 Contexto no comparable	Estudios realizados exclusivamente en economías altamente industrializados con condiciones estructurales no transferibles al contexto peruano o latinoamericano
	CE-4 Estudios sin base empírica	Monografías, textos especulativos sin sustento en datos primarios o evidencia experimental

Fuente: Elaboración propia

2.3. Ecuación de búsqueda

La estrategia de búsqueda bibliográfica tuvo como objetivo identificar artículos, tesis y documentos técnicos que abordaran la relación entre economía circular, biomasa agroforestal, cadena de suministro y el sector agroexportador. Se utilizaron operadores booleanos y descriptores clave en español e inglés, con énfasis en documentos de los últimos cinco años (2020-2025), priorizando estudios de caso, metodologías de biorrefinería y modelos de sostenibilidad aplicados. En la tabla N°3, presenta las ecuaciones de búsqueda empleadas para la identificación de literatura científica relacionada con la economía circular aplicada a los residuos agroforestales en empresas agroexportadores, la diversidad de fuentes consultadas contribuyó a reducir el sesgo de publicación y fortalecer la representatividad de la evidencia científica utilizada en la investigación.

Tabla N°3: Ecuaciones de búsqueda de artículos

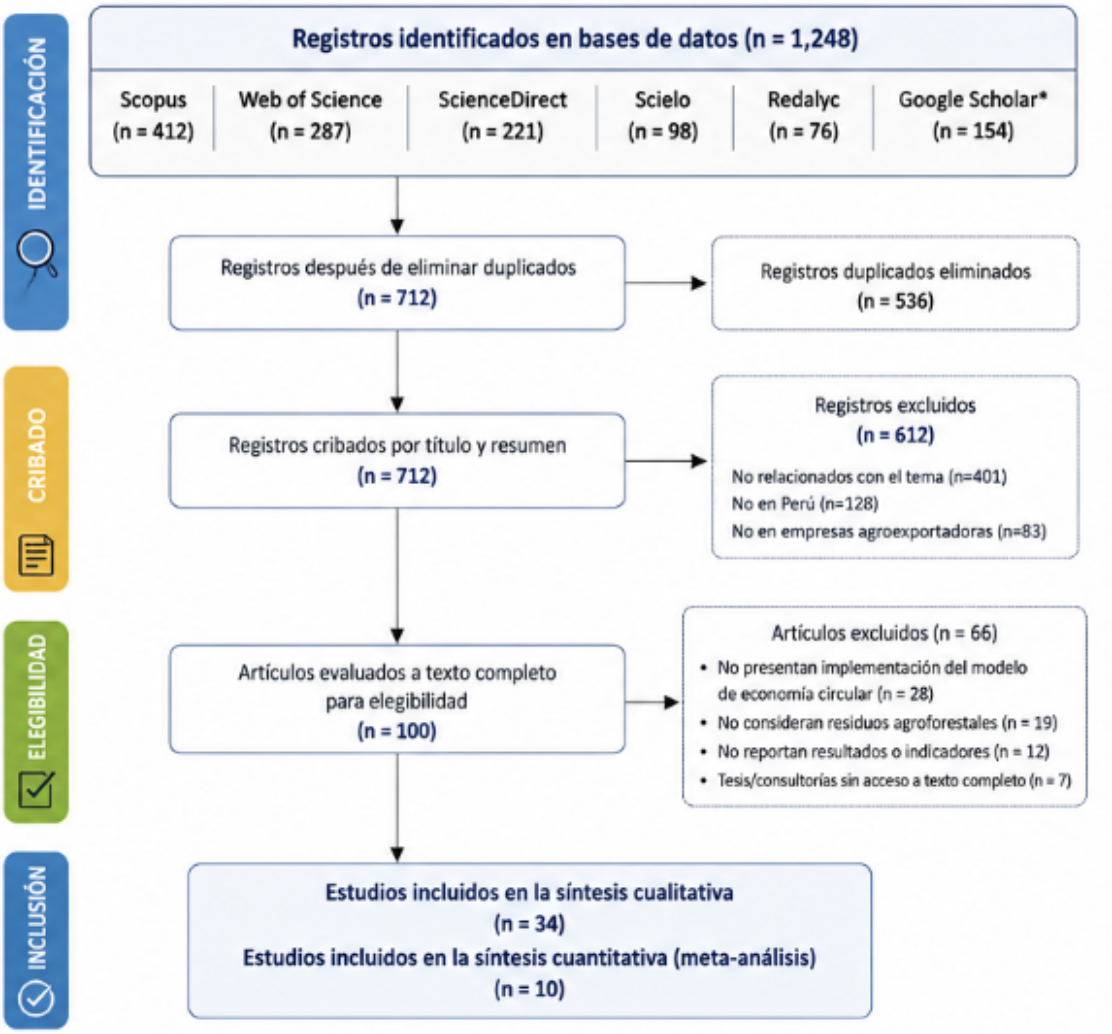
Base de datos	Ecuación de búsqueda (Search String)	Idioma	Registros identificados (n)
Scopus	TITLE-ABS-KEY ("circular economy" OR "circular model") AND ("agroforestry waste" OR "agricultural residues" OR "forest residues") AND ("agro-export company" OR agroindustry) AND (Peru OR Peruvian)	Inglés	412
Web of Science	TS=("circular economy" AND ("agroforestry waste" OR "agricultural residues") AND (agroexport* OR agroindustry) AND Peru)	Inglés	287
ScienceDirect	("circular economy" AND "agroforestry residues" AND agroindustry AND Peru)	Inglés	221
SciELO	("economía circular" OR "modelo circular") AND ("residuos agroforestales" OR "residuos agrícolas") AND (agroexportadoras OR agroindustria) AND Perú	Español / Portugués	98
Redalyc	("economía circular") AND ("residuos agroforestales") AND ("empresas agroexportadoras" OR agroindustria)	Español	76
Google Scholar	("economía circular" OR "circular economy") AND ("residuos agroforestales" OR "agroforestry waste") AND Perú	Español e Inglés	154

Fuente: Elaboración propia

2.4. Diagrama de prisma

Para complementar la información obtenida de la ecuación de búsqueda, mediante la estructura de un diagrama de prisma como herramienta para el ámbito de investigación científica consta de fases principales para detallar los documentos revisado para el tema de estudio. En la Fig. N°1., se explica el diagrama de prisma se identificaron 1248 registros, tras filtros se excluyeron 34 estudios para síntesis cualitativa y 10 para cuantitativa.

Figura N°1: Diagrama de filtrado de publicaciones mediante la metodología PRISMA



Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°4, se puede apreciar la información recopilada en cuanto a la sintesis cuantitavia para el etudio de investigación, en el cual organiza al autor titulo, aporte y año de publicación. Se han considerado los 10 documentos que serán de suma importancia para la construcción para el análisis de datos.

Tabla N°4: Descripción de artículos por autor, titulo, aporte y año de publicación

Autor(es)	Título del artículo	Aporte realizado	Año de publicación
Ruiz, D., Morales, J. y Pérez, A.	Valorización energética de residuos de poda de arándano mediante modelos de economía circular en agroexportadoras peruanas	Determinó el potencial de generación de biogás y compostaje a partir de residuos de poda, reduciendo emisiones de CO□ y costos de disposición final.	2023
García, L. y Villanueva, K.	Aprovechamiento de residuos de alcachofa para la producción de biofertilizantes en empresas agroexportadoras	Cuantificó mejoras en la calidad del suelo mediante compostaje de pencas y tallos de alcachofa, incrementando la materia orgánica disponible.	2022
Quispe, J., Torres, M. y León, P.	Producción de biochar a partir de residuos agroforestales de arándano en la costa peruana	Evaluó la eficiencia del biochar para mejorar propiedades físico-químicas del suelo y disminuir pérdidas de nutrientes.	2021
Mendoza, A. y Peralta, C.	Economía circular aplicada a residuos de palta para la obtención de biomasa y aceites esenciales	Determinó el rendimiento de extracción de aceite y la valorización energética de la biomasa residual.	2021
Salas, R., Gómez, E. y Rojas, F.	Compostaje de residuos de vid y su impacto en la productividad agrícola sostenible	Demostró incrementos en productividad agrícola y reducción de costos de fertilización mediante compostaje de residuos vitivinícolas.	2020
Pérez, M., Chávez, L. y Vargas, D.	Revalorización de residuos de espárrago para alimentación animal y compostaje industrial	Cuantificó mejoras en la eficiencia alimentaria y reducción de desperdicios agroindustriales.	2020
López, V. y Yáñez, K.	Producción de biogás a partir de residuos de palta en agroindustrias exportadoras	Estimó el potencial energético de cáscaras y semillas de palta para generación de energía renovable.	2019
Arévalo, P., Sánchez, H. y Díaz, R.	Obtención de compuestos bioactivos a partir de residuos de mango bajo un enfoque de economía circular	Identificó péptidos y compuestos antioxidantes con potencial aplicación en la industria alimentaria y farmacéutica.	2019
Cordero, J., Ramírez, O. y Huamán, S.	Aprovechamiento energético de residuos de poda y aserrín en sistemas agroforestales	Evaluó la producción de biomasa sólida para uso energético en calderas industriales.	2018
Rojas, N. y Quintana, G.	Vermicompostaje de residuos de alcachofa para la mejora de la fertilidad de suelos agrícolas	Determinó mejoras en la disponibilidad de nutrientes y actividad microbiológica del suelo mediante vermicompostaje.	2018

Fuente: Elaboración propia

2.5. Procedimiento metodológico

El procedimiento metodológico se estructuró en seis etapas secuenciales: (1) diagnóstico situacional del sector agroexportador en Perú mediante revisión de estadísticas oficiales de ADEX, SENASA y PROMPERU (2020-2024); (2) identificación y cuantificación de flujos de biomasa residual utilizando el factor de conversión del 25% sobre el volumen procesado, validado por la literatura especializada; (3) mapeo tecnológico de las rutas de valorización de biomasa disponibles (pirólisis, compostaje, biorrefinería, biofertilizantes), evaluadas mediante análisis multicriterio; (4) modelamiento y simulación de indicadores para el período 2020-2030 basado en curvas de adopción tecnológica sectorial (FAO, 2023; McKinsey, 2022); (5) análisis estadístico de correlación entre variables independientes y dependientes mediante coeficiente de Pearson (r) con software SPSS v.27; y (6) evaluación de viabilidad económica del modelo circular mediante análisis de ROI y costo-beneficio.

2.6. Diseño metodológico

La investigación adopta un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y con diseño no experimental de corte transversal con proyecciones longitudinales simuladas. Para el presente tema de estudio consta de seis dimensiones, ver tabla N°5.

Tabla N°5: Indicadores potenciales de evaluación

Dimensión	Indicador	Unidad / Escala	Línea base 2020	Meta 2030
Valorización Biomasa	Biomasa valorizada / Biomasa disponible	% y miles TM	5%	72%
Cap. Tecnológica	Índice compuesto de adopción tecnológica	Índice 0-100	22/100	89/100
ISC	Índice de Sostenibilidad Circular	Índice 0-100	18/100	88/100
Reducción Costos	Ahorro en costos operativos vs baseline	% anual	0%	35.2%
Huella Carbono	Emisiones GEI por tonelada exportada	t CO□-eq/TM	0.82	0.32
ROI	Retorno de inversión acumulado del modelo circular	%	-100%	+452%

Fuente: Elaboración propia

2.7. Población y muestra

La población de estudio comprende la totalidad de empresas agroexportadoras, registradas en el Registro Nacional de Exportadores de ADEX y PROMPERU reportadas en el año 2024, que ascienden a 2351 empresas activas, donde su participación en exportaciones nacionales representa un valor de 17,1%. Para la muestra, dado el objetivo de modelar la economía circular en el segmento de mayor impacto, se adoptó un muestreo no probabilístico intencional por criterios. Para el estudio se tiene como producto seleccionada a la palta de cuatro empresas líderes que concentran el 65.8% del valor FOB total de exportaciones: Camposol S.A. (28.4% de participación), Danper Trujillo S.A.C. (24.7%), Virú S.A. (8.1%) y Complejo Agroindustrial Beta S.A. (4.6%) (ADEX, 2024; MIDAGRI, 2023). El criterio de selección incluyó: (a) participación de mercado >4%, (b) disponibilidad de reportes de sostenibilidad públicos, y (c) operaciones de procesamiento industrial propio con generación cuantificable de biomasa residual. Los datos primarios se complementaron con simulaciones basadas en datos secundarios de SENASA, PROMPERU y registros sectoriales oficiales para el período proyectado 2025-2030.

3. Resultados

3.1. Caracterización de flujos de biomasa

Durante las actividades de producción, cosecha, procesamiento, empaque y exportación de productos agroindustriales se genera biomasa residual que están constituidos por restos vegetales, tallos, hojas, semillas, pulpas, ramas, podas y otros subproductos que no forman parte de los comercializado. No se dispone de registro directo de residuos generados, para ello es frecuente emplear un factor residual obtenido de literaturas científicas, se muestra la fórmula para el cuantificar la biomasa residual generada.

.....*(1)*

Donde:

BR = Biomasa residual

Vp=Volumen procesado o producción total (toneladas/año)

Fr=Factor residual (%)

El factor residual es un coeficiente técnico que representa la relación de la cuarta parte de residuos generados a la producción total procesada, de esta manera se estima la biomasa residual de un volumen determinado en un proceso. En la tabla N°6, se muestra volúmenes de biomasa residual de los productos más comercializados para la exportación, cada proceso hasta finalizar su disposición de distribución genera un volumen de residuos conocido como biomasa residual.

Tabla N°6: Cuantificación de biomasa residual generada en un proceso

Producto Agroexportador	Volumen Procesado (t/año)	Factor Residual (%)	Biomasa Residual (t/año)
Palta	100,000	25	25,000
Arándano	50,000	25	12,500
Mango	70,000	25	17,500
Café	80,000	25	20,000
Cacao	40,000	25	10,000

Fuente: Elaboración propia con base en ADEX (2024), SENASA (2024) y PROMPERU (2023).

El análisis del sector agroexportador peruano evidencia una disponibilidad creciente de biomasa residual asociada al incremento sostenido de las exportaciones agrícolas. Durante el período 2020-2024, las exportaciones de palta aumentaron de 310 000 TM a 571 470.8 TM, generando un volumen estimado de biomasa residual de 142.9 mil TM en 2024. Considerando un factor residual promedio del 25% esta biomasa está compuesta principalmente por semillas, cascaras y residuos de poda con potencial de aprovechamiento industrial.

Desde una perspectiva de economía circular, este volumen de biomasa representa una oportunidad estratégica para la producción de biofertilizantes, biochar, biocombustibles y otros bioproductos capaces de generar valor económico adicional y reducir simultáneamente los impactos ambientales asociados a la disposición convencional de residuos.

En la tabla N°7., se detalla las exportaciones del periodo 2020 al 2024, teniendo en cuenta las cantidades en miles de toneladas de los productos exportados y cuanto representa la biomasa disponible generada.

Tabla N°7: Exportaciones de palta peruana y generación de biomasa residual 2020-2024

Año	Exportaciones (miles TM)	Valor FOB (US$ mill.)	Biomasa disponible (miles TM)	% Valorización	Biomasa valorizada (miles TM)
2020	310.0	540.2	77.5	5.0%	3.9
2021	440.0	756.4	110.0	7.0%	7.7
2022	548.0	963.0	137.0	10.0%	13.7
2023	599.2	996.8	149.8	14.0%	21.0
2024	571.5	1250.0	142.9	18.0%	25.7

Fuente: Elaboración propia con base en ADEX (2024), SENASA (2024) y PROMPERU (2023).

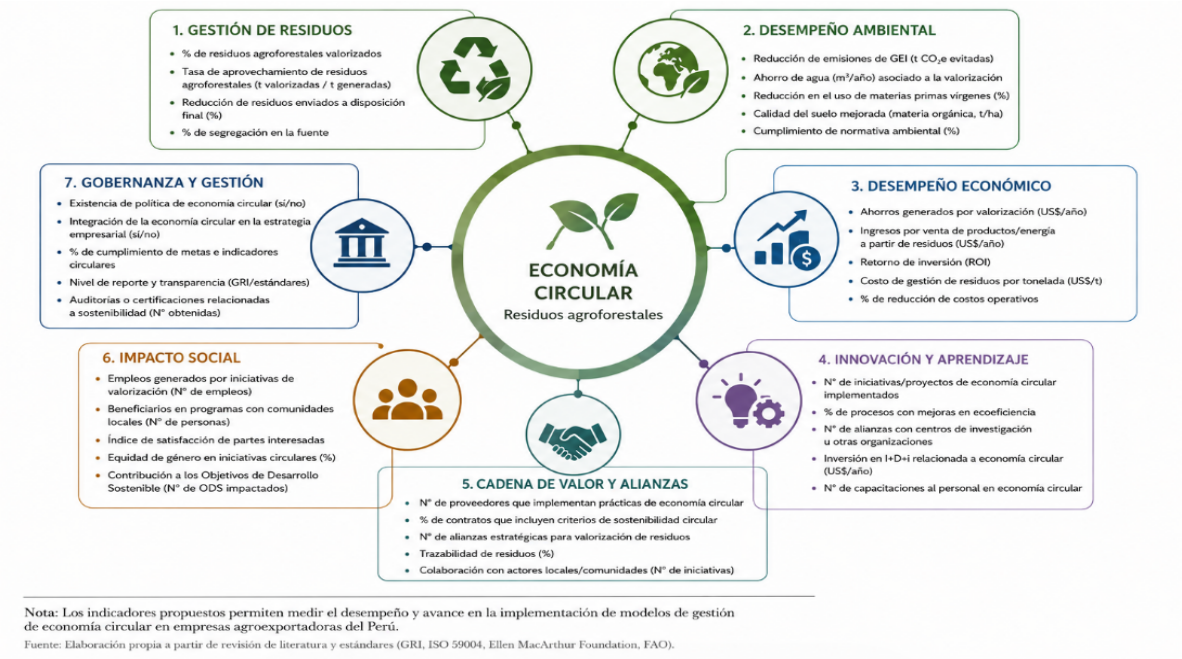
Los resultados muestran que únicamente el 18% de la biomasa disponible fue valorizada en 2024, lo que evidencia la existencia de una importante brecha entre la generación de residuos y su aprovechamiento efectivo. Esta situación confirma el predominio de esquemas lineales de gestión, caracterizado por la disposición final o el aprovechamiento de bajo valor agregado. Además, el crecimiento del valor FOB respecto al año anterior es mayor al 25% según datos proporcionados de ADEX, este comportamiento dinámico posiciona al Perú como el segundo exportador mundial de palta, con destinos en más de 67 países, siendo Países Bajos (37%), China (20%) y España (14%) como los principales mercados (SENASA, 2024).

En cuanto a la valorización de biomasa residual es generada en el flujo de su procesamiento donde se produce tres componentes residuales principales como la semilla, cascara (representando un volumen total promedio de 30-40%) y material de poda agroforestal. La conversión de los residuos a través de procesos termoquímicos muestra que una semilla contiene ~60% de almidón en base seca, compuestos fenólicos y lignina, con un poder calorífico superior a 18 MJ/kg (Ramos-Huallpartupa y Torres-Tapia, 2023). La cáscara presenta alta concentración de celulosa y hemicelulosa, mientras que el material de poda aporta lignina estructural apta para bioenergía. Por lo tanto, la valorización de este tipo de residuos generados proporciona autoabastecimiento en un procesamiento de una planta lo que permite cubrir las necesidades energéticas representando un ingreso económico.

3.2. Indicadores de economía circular de biomasa

La medición del desempeño en la implementación de un modelo de gestión de economía circular exige la utilización de indicadores multidimensionales que permitan evaluar los efectos e impactos derivados de su aplicación e implementación de este modelo de gestión. En la Figura N°2, se presenta un marco integral de indicadores diseñados para evaluar el grado que implica implementar una economía circular dentro de una empresa agroexportadora en el contexto peruano. Este esquema se estructura en 7 dimensiones estratégicas como: gestión de residuos, desempeño ambiental, desempeño económico, innovación y aprendizaje, cadena de valor y alianzas, impacto social y gobernanza, permitiendo evaluar de manera integral los resultados de la transición hacia sistemas productivos circulares.

Figura N°2: Indicadores para la evaluación de la implementación de un modelo de gestión de economía circular de residuos agroforestales en empresas agroexportadoras del Perú



Fuente: Elaboración propia basada en estándares de sostenibilidad y economía circular, incluyendo Global Reporting Initiative (GRI), ISO 59004, la Fundación Ellen MacArthur y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

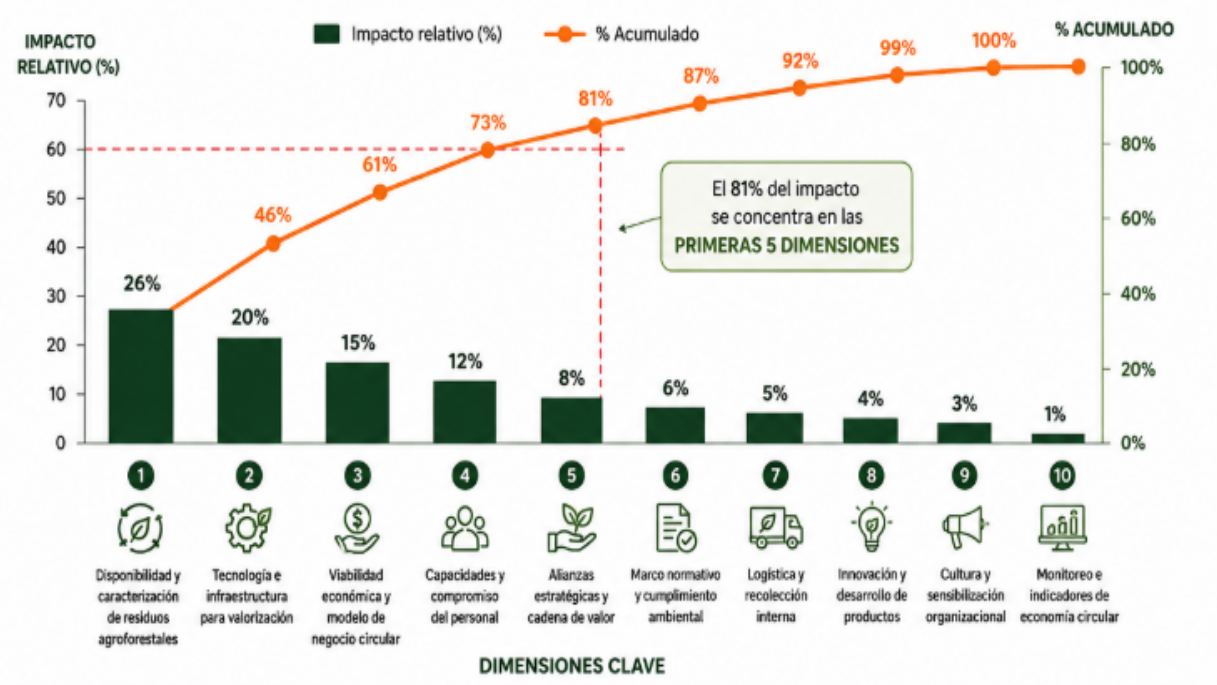
En conjunto, estos indicadores proporcionan una herramienta para monitorear y evaluar el desempeño de las empresas agroexportadoras en la transición hacia modelos productivos más sostenibles y circulares, permitiendo identificar oportunidades de mejora y facilitar la toma de decisiones basada en evidencia.

Ante la limitada disponibilidad de información empírica sobre la implementación de modelos de economía circular en empresas agroexportadoras del Perú, se desarrolló un Diagrama de Pareto teórico con el propósito de jerarquizar las dimensiones más relevantes para su adopción. La ponderación de dichas dimensiones se sustentó en la frecuencia de aparición y la importancia atribuida en estudios previos sobre economía circular, bioeconomía y estrategias de valorización de residuos agroforestales. Este enfoque permitió identificar los factores críticos de éxito que orientan la transición hacia sistemas productivos más sostenibles y eficientes en el sector agroexportador en el contexto peruano.

En la Figura N°3., se presenta las dimensiones más significativas ante la implementación de un modelo de economía circular de residuos agroforestales, además se muestra que las 5 primeras dimensiones son clave porque representan el 81% de impacto para las empresas agroexportadoras.

L

Figura N° 3: Diagrama de Pareto



Fuente: Elaboración propia

De la imagen anterior, se identifica los factores que influyen para la investigación, se evidencia que mayor impacto se encuentra en la disponibilidad y caracterización de residuos agroforestales, en el fortalecimiento de las capacidades tecnológicas, y la viabilidad económica están asociados a economía circular, mediante una simulación presentan trayectorias de crecimiento que tales factores son consistentes para países en desarrollo con sector agroexportador, cabe decir que la adopción tecnológica va directamente para gestionar los residuos de acuerdo a lo que menciona la información documentada por la FAO (2023).

A partir de datos base que corresponde al año 2020 de obtiene de las estadísticas oficiales del MIDAGRI, SUNAT, BCRP y estudios sectoriales; las proyecciones se construyen aplicando tasas de crecimiento derivadas de modelos de regresión lineal y exponencial, ajustadas con supuestos de adopción tecnológica progresiva y escenarios de política pública. En la tabla N°8., se aprecia una proyección prospectiva de la capacidad de valorización de biomasa residual agroforestal y su contribución al desarrollo de la economía circular en el sector agroexportador peruano durante el período 2020–2030.

Tabla N°8: Proyección de indicadores de Economía circular de biomasa (2020-2030)

Año	Biomasa disponible (miles TM)	Biomasa valorizada (miles TM)	% Valorización	Cap. Tecnológica (índice 0-100)	ISC (índice 0-100)
2020	77.5	3.9	5%	22	18
2021	110.0	7.7	7%	25	22
2022	137.0	13.7	10%	28	27
2023	149.8	21.0	14%	33	33
2025*	155.0	37.2	24%	45	48
2026*	168.0	52.1	31%	54	57
2027*	182.5	73.0	40%	63	65
2028*	198.8	99.4	50%	72	73
2029*	216.3	131.9	61%	81	81
2030*	235.5	169.6	72%	89	88

Fuente: Elaboración propia. (*) Proyecciones simuladas basadas en datos reales 2020-2024.

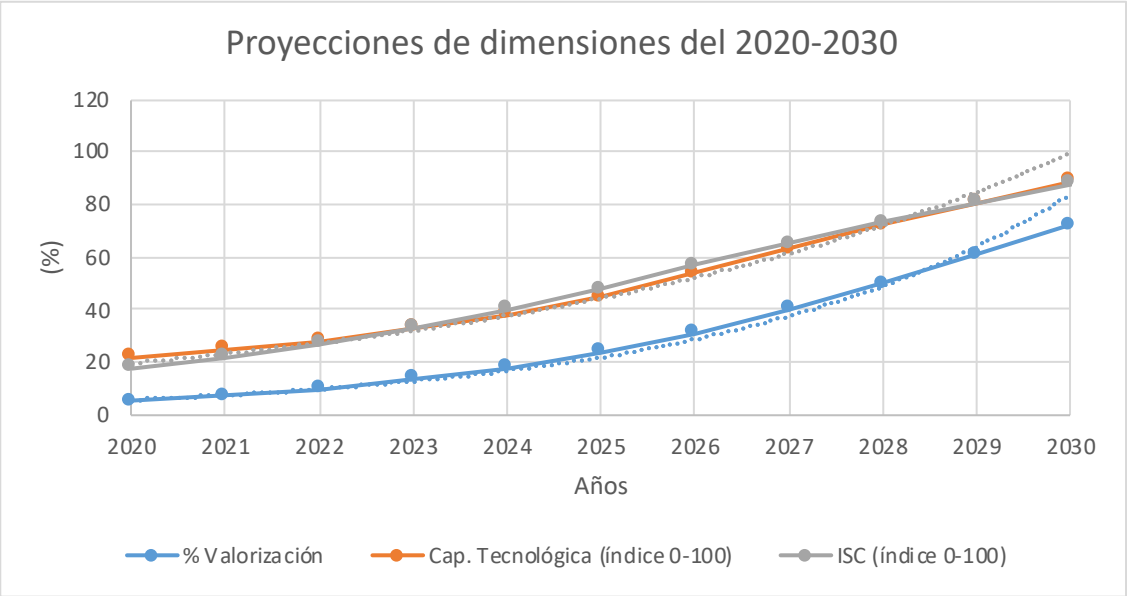
La proyección de los indicadores de economía circular muestra una evolución favorable de la capacidad de sector agroexportadora para transformar residuos agroforestales en recursos productivos. La valorización de biomasa se incrementa progresivamente desde el 5% en el 2020 hasta 72% en 2030, reflejando una adopción creciente de tecnologías de compostaje, pirolisis y biorefinería

Paralelamente, la capacidad tecnológica experimenta un incremento desde 22 hasta 89 puntos sobre la escala de 100, evidencia una transición gradual de sistemas tradicionales de manejo de residuos hacia esquemas integrados de aprovechamiento y monitoreo digital.

El índice se sostenibilidad circular (ISC) presenta una evolución consistente pasando de 18 a 88 puntos. Este comportamiento sugiere que el fortalecimiento tecnológico y la valorización de biomasa constituye factores determinantes para mejorar el desempeño ambiental, económico y operativo de las empresas agroexportadoras. De mantenerse las tendencias proyectadas, el sector podría alcanzar niveles avanzados de circularidad antes del año 2030, alineado con los compromisos del Perú y el Acuerdo de París (MINAM, 2020). Este indicador sintetiza el desempeño global del sistema considerando aspectos ambientales, económicos y tecnológicos que debe considerar una empresa agroexportador.

En la Grafica N°1., se presenta las proyecciones que evidencia una relación directa entre el % de valorización de biomasa, el fortalecimiento de la capacidad tecnológica y el índice de sostenibilidad circular (ISC) en el eje X vs los años como han transcurridos en el eje Y. A medida que las organizaciones incorporan tecnologías para el aprovechamiento de residuos agroforestales, se incrementa la recuperación de recursos y se generan mejoras en el desempeño sostenible de la cadena de suministro. De acuerdo a datos proporcionados por el MIDAGRI del año 2020 al 2024 se desarrolla la simulación de datos proyectados hacia el año 2030.

Gráfica N°1: Proyecciones de una economía circular en empresas agroexportadoras



Fuente: Elaboración propia

3.3. Indicadores de optimización de cadena de suministro

La cadena de suministro comprende la red integrada de organizaciones, personas, actividades, información y recursos involucrados en la producción y distribución de un producto desde el origen hasta el consumidor final (Chopra & Meindl, 2016). En el sector agroexportador, incluye desde la provisión de insumos agrícolas hasta la entrega del producto terminado en los mercados de destino, pasando por los procesos de cosecha, acopio, empaque, refrigeración, transporte y comercialización.

Al implementar una gestión en economía circular se debe abandonar la visión lineal tradicional para adoptar un enfoque de dinámica de sistemas, para comprender esta transformación y aprovechamiento de recursos, de esta manera se busca que permanezca un periodo a plazo largo y sea viable para una organización.

La Tabla N.° 9, presenta la proyección de las dimensiones que facilitan la medición en el desempeño de la cadena de suministro para el periodo 2020-2030, considerando la implementación progresiva de un modelo de economía circular basado en el aprovechamiento de residuos agroforestales en empresas agroexportadoras del territorio peruano. Los indicadores evaluados corresponden a la reducción de costos operativos, la disminución de la huella de carbono y el retorno de la inversión (ROI), representan valores que permiten medir simultáneamente los beneficios económicos, ambientales y financieros del modelo propuesto en una empresa agroexportadora.

Tabla N°9: Proyección de indicadores de la cadena de suministro (2020-2030)

Año	Reducción costos operativos (%)	Huella de Carbono (t CO2-eq/ TM exportada)	ROI Acumulado (%)
2020	0.0%	0.82	-100%
2021	2.1%	0.79	-85%
2022	3.8%	0.75	-60%
2023	5.5%	0.71	-22%
2024	7.9%	0.67	+18%
2025*	11.2%	0.62	+64%
2026*	15.0%	0.56	+118%
2027*	19.5%	0.50	+182%
2028*	24.3%	0.44	+258%
2029*	29.8%	0.38	+347%
2030*	35.2%	0.32	+452%

Fuente: Elaboración propia. (*) Proyecciones simuladas. Metodología huella de carbono: GHG Protocol (WRI, 2022).

Los resultados evidencian que la implementación progresiva de estrategias de economía circular genera efectos positivos simultáneos sobre la eficiencia operativa, el desempeño ambiental y la rentabilidad empresarial.

La reducción de costos operativos alcanza un 35.2% en 2030 debido al aprovechamiento interno de recursos que anteriormente eran considerados residuos, permitiendo disminuir gastos asociados a fertilizantes, energía y disposición final. Este comportamiento demuestra que la economía circular puede convertirse en una herramienta efectiva para incrementar la competitividad de las empresas agroexportadoras.

Por otra parte, la huella de carbono disminuye de 0,82 a 0,32 t CO2-eq/TM exportada, representando una reducción aproximada del 61%. Este resultado refleja la contribución del modelo propuesto a los objetivos nacionales de mitigación del cambio climático y al cumplimiento de las exigencias ambientales de los mercados internacionales. La reducción progresiva de las emisiones contribuye directamente al cumplimiento de los compromisos climáticos asumidos por el Perú en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) y fortalece la competitividad de las empresas agroexportadoras frente a mercados internacionales que exigen productos con menor impacto ambiental.

Finalmente, el retorno sobre la inversión presenta una evolución positiva, alcanzando un valor acumulado de 452% hacia el 2030. Aunque este indicador corresponde a un escenario prospectivo, evidencia que la valorización de biomasa residual puede constituir una fuente significativa de generación de valor económico para las empresas del sector.

3.5. Análisis de costo-beneficio

Los resultados del análisis costo-beneficio evidencian que la implementación de un modelo de economía circular basado en el aprovechamiento de residuos agroforestales presenta viabilidad económica para empresas agroexportadoras medianas del Perú. La inversión inicial requerida asciende a S/ 2 250 000 e incluye infraestructura para compostaje, producción de biochar, sistemas de digitalización y capacitación especializada.

Los beneficios económicos anuales estimados alcanzan S/ 1 330 000, provenientes principalmente de la comercialización de biochar, la venta de compost agrícola y la reducción de costos asociados a la disposición final de residuos. Una vez descontados los costos operativos, se obtiene un beneficio neto anual de S/ 480 000.La relación beneficio/costo de 1.56 indica que por cada sol invertido se generan S/ 1.56 en beneficios económicos, mientras que el retorno sobre la inversión alcanza 21.3% anual. Asimismo, el período de recuperación de la inversión se estima en 4.7 años, valor consistente con proyectos de valorización de biomasa reportados en la literatura internacional.

Estos resultados sugieren que la adopción de estrategias de economía circular no solo contribuye a la reducción de impactos ambientales y al aprovechamiento eficiente de los recursos, sino que también constituye una alternativa económicamente rentable para fortalecer la competitividad y sostenibilidad de las empresas agroexportadoras peruanas.

Tabla N°10: Relación costo-beneficio del modelo de economía circular

Concepto	Monto (S/.)	Descripción
INVERSIÓN INICIAL		
Planta de compostaje industrial	650 000	Área de procesamiento, volteadoras, sistema de control y almacenamiento
Unidad de producción de biochar (pirólisis)	950 000	Equipo de pirólisis para valorización energética de biomasa
Infraestructura complementaria	280 000	Almacenes, patios de acopio, acondicionamiento y logística interna
Sistemas de monitoreo y digitalización	220 000	Software de trazabilidad, monitoreo ambiental e indicadores de circularidad
Capacitación y asistencia técnica	150 000	Formación de personal y acompañamiento especializado
INVERSIÓN TOTAL	**2 250 000**	Inversión inicial estimada para empresa agroexportadora mediana
BENEFICIOS ECONÓMICOS ANUALES		
Ahorro por reducción de disposición de residuos	280 000	Menores gastos de transporte y disposición final
Sustitución de fertilizantes comerciales	190 000	Uso interno de compost y biofertilizantes
Sustitución parcial de energía convencional	120 000	Aprovechamiento energético de biomasa residual
Venta de compost agrícola	240 000	Comercialización en mercado agrícola regional
Venta de biochar	420 000	Comercialización para acondicionamiento de suelos y captura de carbono
Créditos o incentivos ambientales estimados	80 000	Potenciales beneficios asociados a reducción de emisiones
BENEFICIO ECONÓMICO ANUAL TOTAL	1 330 000	Beneficios directos generados por el modelo circular
Costos operativos anuales	850 000	Mano de obra, mantenimiento, energía e insumos
BENEFICIO NETO ANUAL	480 000	Beneficio anual descontando costos operativos
Relación Beneficio/Costo (B/C)	1.56	Por cada S/ 1 invertido se generan S/ 1.56 de beneficios
Retorno sobre la inversión (ROI) anual	21.3 %	Rentabilidad promedio estimada
Período de recuperación (Payback)	4.7 años	Tiempo estimado para recuperar la inversión inicial

Fuente: Elaboración propia con base en análisis de biorrefinería agroindustrial (FAO, 2022) y reportes de sostenibilidad de Camposol S.A. (2023).

4. Discusión

Los resultados de esta investigación sugieren que la implementación estructurada de un modelo de economía circular basado en el aprovechamiento de biomasa agroforestal en empresas agroexportadoras del Perú, podrían generar efectos positivos sobre la eficiencia operativa, el desempeño ambiental y la rentabilidad de la cadena de suministro. Estos hallazgos son consistentes con los planteamientos de Moran et al. (2022), quienes destacan la importancia de integrar estrategias sostenibles dentro de los sistemas de gestión empresarial. Asimismo, la asociación observada entre la valorización de biomasa y la reducción de costos operativos respalda el marco conceptual de la investigación y coincide con los hallazgos de McKinsey Global Institute (2022), que reportan mejoras significativas en el desempeño operativo de organizaciones que adoptan modelos circulares maduros.

En relación con la valorización de biomasa, las simulaciones realizadas muestran una evolución proyectada de 5% en 2020 a 72% en 2030. Esta tendencia resulta consistente con los escenarios de transición circular documentada por la FAO (2023) para economías emergentes y sectores agroindustriales en expansión. En este contexto, la semilla de palta adquiere especial relevancia debido a su potencial energético. Ramos-Huallpartupa y Torres-Tapia (2023), reportaron experimentalmente rendimientos de bio-oil de 46.47% mediante pirolisis rápida a 500°C, lo que respalda la factibilidad técnica del componente energético considerado en el modelo. De manera complementaria, Dyjakon et al. (2022) demostraron que las semillas de frutas exóticas, presentaron propiedades fisicoquímicas favorables para su aprovechamiento como biocombustibles sólidos de alta densidad energético. En consecuencia, la integración de estos procesos en una biorrefinería agroindustrial permitiría maximizar el valor generado por cada fracción de biomasa, siguiendo el principio de aprovechamiento en cascada promovido por la Ellen MacArthur Foundation (2021).

Respecto a la capacidad tecnológica, el incremento proyectado del índice de 22 a 89 puntos sobre 100 refleja la transición de un sistema productivo predominantemente lineal hacia un modelo más integrado, eficiente y orientado a la circularidad. Este comportamiento es comparable a la evolución observada por Fargnoli y Lombardi (2020) en sistemas agroindustriales europeos que incorporaron criterios de sostenibilidad en las fases tempranas de diseño de proceso. En el contexto peruano, esta transformación implica desafíos asociados a la disponibilidad de capital, la adopción tecnológica y la capacitación especializada del recurso humano.

Desde la perspectiva económica, la implementación del modelo requiere una inversión inicial estimada en S/. 2 250 000 por empresa agroexportadora mediana. Aunque este nivel de inversión podría constituir una barrera de entrada para algunas organizaciones, el análisis costo/beneficio indica que el sistema alcanzaría su punto de equilibrio entre el cuarto y quinto año de operación. Asimismo, la relación beneficio/costo de 1.56 sugiere que por cada sol invertido se generarían s/1.56 en beneficios económicos, evidenciando un escenario financieramente atractivo bajo condiciones de adopción tecnológico progresivo.

En relación con el desempeño ambiental, la huella de carbono proyectada disminuye de 0.82 a 0.32 t CO2-eq/TM exportada entre 2020 y 2030, representando una reducción aproximada del 61%. Este resultado evidencia el potencial de la economía circular para contribuir a la mitigación del cambio climático mediante la valorización de residuos, la sustitución parcial de insumos convencionales y la optimización de procesos productivos. Además de apoyar el cumplimiento de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) del Perú (MINAM,

2020), esta reducción podría fortalecer la posición competitiva de las empresas agroexportadoras frente a mercados internacionales que demandan los productos con menor huella ambiental, particularmente en el marco de iniciativas como el Pacto Verde Europeo y el Mecanismo de Ajuste en Frontera por Carbono (CBAM).

Por otra parte, el comportamiento del ROI acumulado refleja una dinámica característica de los proyectos de innovación tecnológica y sostenibilidad. Durante los primeros años se observan valores negativos debido a inversiones requeridas para infraestructura, equipamiento y capacitación. Sin embargo, a partir del 2024 el indicador alcanza valores positivos, evidenciando el inicio de la recuperación de la inversión. Debe precisarse que el ROI acumulado de 452% proyectado para 2030 corresponde al horizonte completo de simulación (2020-2030), mientras que el ROI anual promedio estimado mediante el análisis costo-beneficio alcanza 21.3%. Aunque este resultado representa un escenario prospectivo favorable, se encuentra dentro de rangos económicamente plausible considerando los beneficios acumulados derivados de la comercialización de bioproductos y la reducción de costos operativos. Asimismo, García Vallejo et al. (2022) reportan períodos de recuperación de entre 3 y 7 años para proyectos similares de valorización de biomasa de aguacate en Colombia, lo que ubica el período de recuperación estimado de 4.7 años dentro de parámetros razonables para este tipo de inversiones.

Finalmente, el Índice de Sostenibilidad Circular (ISC) proyectado de 88 puntos sobre 100 para 2030 sugiere un elevado nivel de madurez en la implementación de estrategias circulares. De alcanzarse dicho escenario las empresas agroexportadoras podrían mejorar su acceso a mecanismos de financiamiento verde, certificaciones de sostenibilidad y mercados con mayores exigencias ambientales, fortaleciendo simultáneamente su competitividad y resiliencia empresarial.

Una limitación del presente estudio radica en que las proyecciones para el período 2025-2030 se basan en simulaciones sustentadas en tendencias históricas, parámetros técnicos reportados en la literatura y supuestos de adopción tecnológica progresiva, sin contar con validación empírica mediante proyectos pilotos a escala industrial. Futuros estudios deberían incorporar análisis de sensibilidad asociados a variaciones en los precios de los bioproductos, incentivos fiscales para la economía circular y disponibilidad de financiamiento verde, así como validar experimentalmente el modelo mediante experiencias piloto de empresas agroexportadoras peruanas.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos sugieren que la implementación de un modelo de economía circular basado en aprovechamiento de residuos agroforestales presenta viabilidad potencial desde las dimensiones técnica, ambiental y económica en empresas agroexportadoras de palta en Perú, dentro del horizonte de análisis 2020 al 2030.

En primer lugar, la caracterización del sector agroexportador de palta permitió identificar que las 127 empresas activas generan toneladas de biomasa residual con potencial de valorización documentado para bioenergía, biofertilizantes, bioplásticos e ingredientes funcionales. Entre las diferentes fracciones analizadas, la semilla de palta Hass destacó por su potencial energético, alcanzando rendimientos de bio-oil de 46.47% mediante pirólisis rápida a 500°C, lo que lo posiciona como un recurso estratégico para futuras iniciativas de biorrefinería agroindustrial.

En segundo lugar, los resultados evidencian que la valorización de biomasa, la capacidad tecnológica y el Índice de Sostenibilidad Circular (ISC) presentan una asociación positiva con los indicadores de optimización de la cadena de suministro. Las proyecciones realizadas sugieren que el ISC podría superar el umbral de sostenibilidad óptima (≥70) hacia el año 2028, mientras que la capacidad tecnológica aumentaría de 22 a 89 sobre el valor de 100, reflejando la transición gradual desde esquemas de gestión lineales sistemas integrados de economía circular.

En tercer lugar, las simulaciones desarrolladas indican que la implementación progresiva del modelo circular podría contribuir a una reducción de costos operativos de hasta 35.2% al año 2030, así como una disminución aproximada del 61% de la huella de carbono, pasando de 0.82 a 0.32 t CO□-eq/TM exportada. Asimismo, bajo un escenario prospectivo de adopción tecnológica progresiva, el ROI acumulado alcanzaría 452% con punto de equilibrio entre los años 2024 y 2025. De manera complementaria, la relación beneficio/costo de 1.56 indica que por cada sol invertido podría generarse S/1.56 en beneficios económicos.

En cuarto lugar, el análisis de costo-beneficio confirma que una inversión inicial estimada en S/. 2 250 000 para una empresa agroexportadora mediana permitiría generar beneficios económicos anuales brutos cercanos a S/. 1330 000 y un beneficio neto aproximado de S/480 000, alcanzando un periodo de recuperación de la inversión de 4.7 años. Estos resultados sugieren un modelo propuesto constituye una alternativa económicamente atractiva para fortalecer la competitividad empresarial y mejorar el desempeño ambiental, en Concordancia Determinadas a Nivel Nacional (NDC) del Perú, el Pacto Verde Europeo y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9, 12 y 13).

Finalmente, se recomienda a las empresas agroexportadoras implementar el modelo de manera gradual, priorizando inicialmente las fracciones de biomasa con mayor potencial de valorización económica y energética, como la semilla de palta destinada a procesos de pirolisis y la cascara orientada a la extracción de compuestos bioactivos. Asimismo, futuras investigaciones deberían validar empíricamente las proyecciones obtenidas mediante plantas piloto y estudio de campo, incorporando además de un análisis de sensibilidad económica, impacto social en la cadena de valor y mecanismos de gobernanza colaborativa entre empresas, Estado y academia para acelerar la transición hacia modelos circulares en el sector agroexportador peruano.

6. Agradecimiento

El autor expresa agradecimiento a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por el respaldo académico e institucional brindado durante el desarrollo de la presente investigación.

Asimismo, se reconoce la contribución de las fuentes oficiales de información pública proporcionadas por la Asociación de Exportadores (ADEX), Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) y la Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo (PROMPERU), cuyos estadísticos y reportes sectoriales constituyeron insumos fundamentales para la caracterización del sector agroexportador y la elaboración de las proyecciones analizadas en el estudio.

Finalmente, se agradece a los investigadores y organismos nacionales e internacionales cuyas publicaciones científicas, técnicas y sectoriales sirvieron de base para la construcción del marco conceptual y metodológica de la investigación.

7. Literatura citada

Banco Interamericano de Desarrollo [BID]. (2022). Economía circular a partir de residuos agroforestales para la descarbonización (Proyecto CR-G1010). BID. https://www.iadb.org/es/proyecto/CR-G1010

Camposol S.A. (2023). Reporte de sostenibilidad 2023: Trabajamos el campo para mejorar vidas. Camposol. https://www.camposol.com/wp-content/uploads/2024/07/CAMP_RSCAMP2023ESP.pdf

Dyjakon, A., Sobol, L., Noszczyk, T., & Mitrega, J. (2022). The impact of torrefaction temperature on the physical-chemical properties of residual exotic fruit (avocado, mango, lychee) seeds. Energies, 15(2), 612. https://doi.org/10.3390/en15020612

Ellen MacArthur Foundation. (2021). Circularity indicators: An approach to measuring circularity. Ellen MacArthur Foundation. https://ellenmacarthurfoundation.org

Fabbri, D., Li, Y., & Wang, S. (2021). Biomass processing via pyrolysis. En D. Ravelli & C. Samorì (Eds.), Biomass valorization: Sustainable methods for the production of chemicals (pp. 149-180). Wiley-VCH. https://doi.org/10.1002/9783527825028.ch6

Fargnoli, M., & Lombardi, M. (2020). NOSACQ-50 for safety assessment in agricultural activities: A case study in central Italy. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(24). https://doi.org/10.3390/ijerph17249177

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2023). Circular economy in agri-food systems: Framework and metrics. FAO. https://www.fao.org

Hernández, D. (2020). Gestión por proceso en el sistema de seguridad y salud en el trabajo en el Perú. Revista de Investigación Científica y Tecnológica Llamkasun, 1(1).https://doi.org/10.47797/llamkasun.v1i1.5

McKinsey Global Institute. (2022). Sustainability and operational cost reduction in supply chains. McKinsey & Company. https://www.mckinsey.com

Ministerio del Ambiente del Perú [MINAM]. (2020). Contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) del Perú al 2030. MINAM. https://www.gob.pe/minam

Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. (2024). Estadísticas agrarias: Producción y exportación de palta peruana. MINAGRI. https://www.midagri.gob.pe

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI]. (2025). Evolución del sector agroindustrial peruano 2000-2025. MIDAGRI. https://www.midagri.gob.pe

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI] — ADEX. (2023). Evolución del mercado mundial y nacional de palta 2023. Centro de Inteligencia de Negocios y Mercados. https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2023/07/CIEN_NSIM1_Julio_2023_Palta_1.pdf

Morales, M. (2024). Gestión de seguridad para estandarizar procesos seguros: la norma ISO 45001:2018 en microempresas peruanas. Revista Científica: Biotech and Engineering, 4(2). https://doi.org/10.52248/eb.Vol4Iss2.146

Moran, J., Carlos, C., & Soto, H. (2022). Prácticas de gestión de seguridad y salud en el trabajo: Una revisión sistemática de la literatura. Ciencias Administrativas Teoría y Praxis, 18(1), 89-104. https://doi.org/10.46443/catyp.v18i1.304

PROMPERU. (2023). Estadísticas de exportación de aguacates (paltas) frescas o secas, partida arancelaria 0804400000. SIICEX. https://exportemos.pe/descubre-oportunidades-de-exportacion/producto/palta-0804400000

Servicio Nacional de Sanidad Agraria [SENASA]. (2024). Campaña de exportación de palta 2024: certificación de lugares de producción. SENASA. https://www.senasa.gob.pe

World Resources Institute [WRI]. (2022). GHG Protocol Corporate Standard: A corporate accounting and reporting standard (edición revisada). WRI & WBCSD. https://ghgprotocol.org

CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

EL papel de lo mágico religioso en la narrativa histórica de Heródoto: un estudio del Libro III, Talía, siglo V a.c.

Srta. Mercedes Zachenka Espinoza Alcázar
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: espinozaalcazarmercedeszachenk@gmail.com

Sr. Renato Xavier Ochoa Alarcón
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: renato123xavier4@gmail.com

Sr. Manuel Remigio Paitan Diaz
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: mpaitann@gmail.com

Recibido: 04 Septiembre 2026 Aceptado:15 Octubre 2026

Resumen: El relevante papel de la obra de Heródoto como fuente principal para comprender el mundo persa desde la perspectiva griega nos permite apreciar cómo la simbología religiosa está presente en su relato histórico. Por ende, este estudio se enfocará en el análisis del tercer libro de las *Historias* de Heródoto, denominado "Talía", siendo esta la principal fuente para el presente trabajo. En consecuencia, examinaremos detalladamente cómo Heródoto presenta estos elementos mágico religiosos en sus relatos, interpretando el significado de la cosmovisión en el contexto narrativo y su influencia en los acontecimientos relevantes dentro de la narrativa histórica.

Palabras clave: Elementos mágico religioso/ Narrativa histórica/ Simbología religiosa/ Oráculos.

Abstract: The relevant role of Herodotus' work as the main source for understanding the Persian world from the Greek perspective allows us to appreciate how religious symbology is present in his historical account. Therefore, this study will focus on the analysis of the third book of Herodotus' Histories, called "Thalia", this being the main source for the present work. Accordingly, we will examine in detail how Herodotus presents these magical-religious elements in his stories, interpreting the meaning of the worldview in the narrative context and its influence on relevant events within the historical narrative.

Keywords: Magical-religious elements/ Historical narrative/ religious symbology/ Oracles.

Résumé: Le rôle majeur de l'œuvre d'Hérodote, en tant que source principale pour appréhender le monde perse du point de vue grec, permet de saisir la présence de la symbolique religieuse au sein de son récit historique. Cette étude se concentre donc sur l'analyse du troisième livre des Histoires d'Hérodote, intitulé « Thalie », qui constitue la source essentielle de ce travail. Nous examinerons en détail la manière dont Hérodote intègre ces **éléments** magico-religieux dans ses récits, en interprétant la signification de cette vision du monde dans le contexte narratif, ainsi que son influence sur les **événements** marquants de la narration historique.

Mots-clés: **Éléments** magico-religieux / Récit historique / Symbolique religieuse / Oracles.

1. Introducción

Heródoto de Halicarnaso fue un historiador y geógrafo de la antigua Grecia, nacido en el 484 a.C., en la ciudad de Halicarnaso, Anatolia, y murió en el 425 a.C. Proveniente de una gran familia, recibió una educación prominente y viajó por muchos territorios, como Egipto, Babilonia, Persia, etc., lo que le sirvió para recopilar información de los lugares y materializarla en la realización de la obra por la cual se ganaría el título del "Padre de la historia".

La obra de Heródoto es un documento fundamental en la historiografía mundial, siendo uno de los primeros textos recopilatorios del mundo antiguo. Su valor radica en la utilización de diversas fuentes para describir lugares y costumbres de pueblos externos a las polis griegas. A través de este valioso testimonio, podemos obtener un amplio panorama de los elementos mágico-religiosos presentes en su narrativa histórica, resaltando la relación que se establece con el destino de los hombres. Este enfoque etnográfico no se limita únicamente a registrar los eventos ocurridos, sino que profundiza y explora las creencias de cada pueblo; cómo sus culturas y diferentes cosmovisiones influyen en el rumbo de cada nación.

Estas narraciones tienen un factor en común: la intervención divina, ya sea directa o indirecta, en el destino de los hombres, resaltando la presencia e influencia de los oráculos, ambos ocupando un lugar central en todo momento. Las historias servirán como medio por el cual se manifestará lo sobrenatural, fenómenos inexplicables que se atribuirán a la voluntad de seres superiores ligados en todo momento al mundo humano.

El propósito de esta investigación es examinar cómo los elementos mágico-religiosos, presentes en la narrativa de Heródoto, desempeñan un papel fundamental en la toma de decisiones políticas o militares a través de las intervenciones divinas en hechos históricos; y cómo esto influye en la percepción de los eventos y en las acciones de los líderes de cada nación. Por lo tanto, los objetivos de este trabajo se centran en analizar el papel de dichos elementos en la narrativa histórica de Heródoto plasmados en el tercer libro "Talía", que forma parte de esta importante fuente histórica. Se analizará los elementos religiosos, exponiendo su función y su influencia en los eventos históricos narrados por Heródoto.

A lo largo de este trabajo, analizaremos cómo se percibían los elementos mágico-religiosos desde la antigüedad y cómo influyeron en la cultura y la política de la época. Aunque los símbolos mágico-religiosos presentes en el contexto histórico retratado por Heródoto hayan experimentado cambios con el tiempo, este análisis nos permitirá identificar cómo algunos de estos elementos aún perduran en nuestra época contemporánea. Por último, nos brindará la oportunidad de examinar cómo estas relaciones culturales y de poder se representaban dentro de la narrativa de Heródoto en relación con los símbolos mágico-religiosos.

2. Contexto histórico

Vida y contexto histórico de Heródoto

Heródoto nació entre el 484 y el 425 a.C. en la colonia dórica de Halicarnaso, que estaba bajo dominio persa. Este período fue testigo de numerosos eventos bélicos que alteraron el orden establecido y sentaron las bases de la siguiente era. Entre los acontecimientos más destacados durante la vida de Heródoto se encuentran las Guerras Médicas, en las que una gran coalición griega se formó para resistir la invasión persa, que finalmente fracasó en su intento de conquistar Grecia.

También cabe mencionar la Edad de Oro ateniense, durante el liderazgo de Pericles, que presenció el desarrollo de la Guerra del Peloponeso y una hegemonía ateniense sin precedentes, incluso sobre Esparta, que en ese momento atravesaba dificultades. La muerte de Pericles marcó el fin de esta hegemonía, seguida de la firma de la paz entre Esparta y Atenas. Así, Heródoto vivió en una época turbulenta, caracterizada por guerras, revueltas y cambios constantes.

En este contexto, Heródoto no solo se dedica a describir los conflictos entre griegos y persas, sino que también aborda las causas que llevaron al desarrollo de dichos conflictos bélicos en su obra; por lo que, no solo se limita a narrar los eventos de manera superficial, sino que profundiza en el análisis de las razones y motivaciones que subyacen detrás de estos enfrentamientos. Lecaros (2015) lo plantea de la siguiente manera:

En el proemio de las investigaciones de Heródoto, el historiador nos presenta los motivos por los que estudia la guerra que hubo entre los helenos y los persas, por esta razón, él se dedica a indagar las causas que provocaron el conflicto con los bárbaros. Es así como nuestro historiador, no solo analiza los distintos episodios bélicos, sino que va más allá de los hechos y busca los antecedentes de este conflicto. Para realizar los reinos e investigando a las distintas provincias que constituían el Imperio Persa, conociendo los reinos e investigando sus costumbres y tradiciones. (p.42)

Importancia de su obra en la historiografía

La importante obra de Heródoto, dividida en nueve libros, fue publicada en el año 430 a.C., época en la que se llevaba a cabo la Guerra del Peloponeso y había una gran peste en Atenas la cual acabaría con la vida de Pericles. El periodo que tardó en escribir su obra es extenso dado que Heródoto no se limitó en expandir sus conocimientos recurriendo a diferentes métodos para obtener la información requerida como la observación, testimonios y escritos, por lo que realizó varios viajes a lugares como Egipto, Fenicia, Mesopotamia, etc.

A lo largo del tiempo, la obra ha sido cuestionada por la veracidad o verosimilitud de su narración en términos históricos. No obstante, es crucial reconocer su importancia como documento primordial en el desarrollo histórico de la humanidad. Aunque la narración destaque elementos simbólicos religiosos propios de la visión griega, es necesario interpretarla dentro del contexto del análisis historiográfico. Graciani (2000), indica:

De hecho, su credibilidad no es constante a lo largo de la obra, sino que depende de otros factores como la fuente de información, o el carácter, descriptivo o cuantitativo, del dato aportado. La información aportada por Heródoto combina dos fuentes de información: de un lado, la observación directa y la experiencia personal, y, de otro, la transmisión oral. (p.452)

Sin embargo, la presencia de estos elementos mágico-religiosos dentro de la narración no debe descalificarse como fuente primaria. Las *historias* de Heródoto son unas de las pocas fuentes que proporcionan información y antecedentes sobre los persas, dado que las principales fuentes sobre el desarrollo griego y persa provienen de escritos griegos. Ordoñez-Burgos (2007) afirma lo siguiente: “Si vamos a descalificar el trabajo llevado a cabo por Heródoto, desde una perspectiva filosófica, argumentando su contenido mítico-religioso; hemos de pensar dos veces. Platón, “Pitágoras”, Parménides, Empédocles, Heráclito, entre otros, no terminarían bien parados” (p. 210-211).

Considerado por muchos como el "Padre de la Historia" debido a su enfoque en recopilar información de diversas culturas y eventos, este historiador proporciona una visión única de la antigüedad, fundamental para comprender la historia antigua del mundo mediterráneo. Sentó las bases de la investigación histórica al recopilar datos de primera mano, realizar observaciones directas, presentar la información de manera imparcial y objetiva, y contrastar diferentes fuentes. Mostró un profundo interés en las diversas culturas y civilizaciones, inspirando a generaciones posteriores de historiadores a explorar la diversidad cultural y adoptar un enfoque comparativo en sus investigaciones.

Las investigaciones de Heródoto siguen siendo relevantes en la actualidad por su contribución al conocimiento histórico, su metodología de investigación y su enfoque en la diversidad cultural, lo que lo convierte en una figura fundamental en la historiografía occidental.

Similitudes y diferencias con Tucídides

A pesar de su diferencia de edad, Heródoto y Tucídides fueron contemporáneos y ambos son considerados pioneros en el desarrollo de la historiografía como disciplina. Tanto Heródoto como Tucídides se esforzaron por investigar y recopilar información de manera rigurosa para sus obras, utilizando discursos directos en sus narraciones para dar voz a los personajes históricos y transmitir sus puntos de vista. Ambos abordaron eventos significativos de la antigua Grecia, como las Guerras Médicas y la Guerra del Peloponeso, respectivamente, mostrando interés en analizar las causas y motivaciones detrás de los acontecimientos que narraron. Tucídides se enfocó en la Guerra del Peloponeso, analizando sus causas políticas y militares, mientras que Heródoto abarcó una gama más amplia de temas históricos y geográficos en sus "Historias". Heródoto incluyó relatos de viajes y descripciones culturales, mostrando interés en la diversidad de las sociedades antiguas, mientras que Tucídides se centró principalmente en los aspectos políticos y militares de la historia.

El desarrollo de la religiosidad y superstición en la narrativa de Tucídides es escasa y se encuentra plasmada en eventos históricos que tienen un impacto político y militar, las cuales se muestran en su obra ‘’Historia de la Guerra del Peloponeso’’. En dicha obra, Tucídides menciona el papel de los oráculos y la superstición en la toma de decisiones políticas y militares en varias ocasiones. Uno de los ejemplos más destacados es cuando relata cómo los atenienses, durante la guerra, buscaron la orientación del oráculo de Delfos antes de embarcarse en una importante expedición militar contra Sicilia en el año 415 a.C.

Tucídides describe cómo los atenienses enviaron una delegación al oráculo de Delfos para consultar sobre la viabilidad y el éxito de la expedición a Sicilia. Según relata, el oráculo respondió de manera ambigua, lo que permitió a los atenienses interpretar su respuesta de manera favorable, creyendo que la expedición sería exitosa. Esta interpretación optimista impulsó a Atenas a seguir adelante con la expedición, a pesar de las advertencias de algunos líderes que desconfiaban de la empresa.

Esta consulta al oráculo de Delfos y la interpretación de su respuesta destacan cómo los líderes políticos y militares de la época recurrieron a la religión y la superstición para obtener orientación y justificación para sus acciones. Aunque Tucídides no profundiza en el proceso de consulta en sí mismo, sí destaca cómo las creencias religiosas y la interpretación de los oráculos influenciaron las decisiones estratégicas durante la guerra del Peloponeso.

A su vez, Tucídides menciona la realización de sacrificios antes de una batalla como parte de su narración sobre los eventos militares y políticos de la guerra. Aunque no proporciona detalles específicos sobre estos rituales, su mención resalta la importancia de los aspectos religiosos en la vida pública de la antigua Grecia. Los sacrificios antes de la batalla eran una práctica común en la antigua Grecia, donde se creía que los dioses debían ser honrados y buscados para obtener su favor y protección en la guerra. Tucídides probablemente menciona estos sacrificios para ilustrar la creencia generalizada entre los griegos de que la intervención divina era un factor significativo en el resultado de las batallas y las campañas militares.

Por último, Tucídides se esforzó por presentar una narración más objetiva, basada en evidencias verificables, mientras que Heródoto a menudo incorporaba leyendas y relatos populares en sus escritos. En términos de legado, Tucídides ha sido más influyente en la historiografía posterior debido a su enfoque analítico y crítico, mientras que Heródoto es reconocido por su estilo narrativo.

3. Los elementos mágico-religioso en la narrativa de Heródoto

Imagen y función de lo mágico religioso en la obra de Heródoto

Lo mágico-religioso abarca una amplia gama de fenómenos, incluidos los rituales, mitos, símbolos y experiencias religiosas que tienen como objetivo acceder a una realidad sagrada o divina. Este enfoque destaca la importancia de comprender las dimensiones simbólicas y rituales de la experiencia religiosa y cómo estas se entrelazan con la vida cotidiana y la cosmovisión de una sociedad.

La función de estos elementos mágico religioso, en las narraciones de Heródoto, se representan en estas relaciones entre lo real y lo sagrado, donde estas formas se terminan por integrarse en una sola concepción del mundo. Según Eliade (1996), “para los primitivos, los símbolos son siempre religiosos porque apuntan a algo real o a la estructura del mundo, puesto que, en los niveles arcaicos de la cultural, lo real (…) equivale a lo sagrado” (p.130).

En el Libro III, se nos presenta el caso ocurrido tras la conquista de Egipto por parte de Cambises, en el año 525 a.C., relacionado con la afrenta que el monarca propicia a Apis, el dios egipcio, y su relación con la locura que desarrolla, sumado a su carácter iracundo. Heródoto nos relata que, en cierta ocasión, Apis aparece visitando la ciudad, y cada vez que esto ocurría, solía celebrarse el acontecimiento. Esta noticia llega a oídos de Cambises, quien manda llamar a los sacerdotes para preguntarles por el alboroto. Al responderle que su dios Apis ha venido a visitarlos, le explican el motivo de la gran celebración; sin embargo, el monarca replica que tal suceso no debía haber sido ocultado de él, y ordena que lo traigan ante su presencia.

Los sacerdotes, que apenas acabaron de presentar a Cambises su dios Apis, cuando aquel monarca, según era de alocado y furioso, saca su daga, y queriendo dar al Apis en medio del vientre, hiérele con ella en uno de los muslos, y soltando la carcajada… Así se les turbó la fiesta a los egipcios, quedaron los sacerdotes bien azotados, y el dios Apis, mal herido en un muslo, tendido en su mismo templo, no tardó en espirar. (Heródoto Libro III, XXIX, p. 111)

Este hecho sin duda, termina por desencadenar, según lo egipcios, el comportamiento de parte de Cambises, en actitudes de manera demenciales e iracundas. La afrenta hacia Apis, queda materializada en la muerte del animal, de esta manera se evidencia un halo de tiranía del mo-

narca persa, cosa que termina por diferir en comparación con las acciones de Ciro, su padre, en relación a la tolerancia de religiones. De este relato, cabe destacar una particularidad que se relacionará con la muerte de Cambises: la zona donde hiere al toro Apis.

Por lo tanto, podemos establecer una relación entre la acción impía realizada por Cambises hacia Apis y la posterior consecuencia reflejada en la demencia del monarca. El propio Heródoto, se refería a Cambises de la siguiente manera: "Por fin, para hablar con franqueza, Cambises me parece a todas luces un loco insensato; de otro modo, ¿cómo hubiera dado en la ridícula manía de escarnecer y burlarse de las cosas sagradas y de los usos religiosos?" (Heródoto Libro III, XXXVIII, p. 114). Esto da paso a una serie de acciones fratricidas y atroces hacia personajes de su círculo más cercano, entre ellas, sus esposas y principalmente, la muerte de su hermano, Esmerdis, conocido en algunas bibliografías como Bardiya o Gaumata.

En pena de este impío atentado, según nos cuentan los egipcios, Cambises, antes ya algo demente, se volvió al punto loco furioso… Retirado a Persia el príncipe Esmerdis, tuvo Cambises entre sueños una visión en que le parecía ver un mensajero venido de la Persia con la nueva de que Esmerdis, sentado sobre un regio trono, tocaba al cielo con la cabeza. No necesitó más Cambises para ponerse a cubierto de su sueño con un temerario fratricidio, receloso de que su hermano no quisiese asesinarle con deseos de apoderarse del imperio (Heródoto Libro III, XXX, p. 111)

Esta narración, nos muestra la imagen de los sueños como avisos de los dioses. Todas estas imágenes sumadas a la locura desarrollada por Cambises, manda a asesinar a su hermano en secreto. Sin embargo, la treta de uno de los magos que estuvo a cargo del reino, mientras el monarca estuvo en la expedición a Egipto, hizo que se desarrollara un gobierno paralelo, bajo la dirección de Patizites, quien coloca en el trono a su hermano llamado también Esmerdi. Es así que, oyendo esto Cambises, que Esmerdis, a quien dio muerte previamente se ha hecho con el poder, se siente acongojado porque recién entiende el sueño que tuvo, no era su hermano, hijo también de Ciro, quien quería hacerse del poder, sino un impostor con el mismo nombre. Se apresura por lo tanto en ir hacia la capital del imperio; sin embargo, en su afán de querer rápido, monta su caballo y es herido con su propio alfanje curiosamente en la misma parte donde hirió al dios egipcio.

Pero quiso su hado adverso que al ir a montar con ímpetu y sin algún miramiento, tirando hacia abajo con su mismo peso el puño del alfanje, sacase la hoja fuera de la vaina, y que el alfanje desenvainado por sí mismo hiriese a Cambises en el muslo. Luego que se vio herido en la parte misma del cuerpo en que antes había herido al dios de los egipcios, Apis, pareciéndole mortal la herida, preguntó por el nombre de la ciudad en que se hallaba, y se le dijo llamarse Ecbatana. No carecía de misterio la pregunta, pues un oráculo venido de la ciudad de Butona había antes anunciado a Cambises que vendría a morir en Ecbatana. (Heródoto Libro III, LXIV, p. 122)

Podemos resaltar dos elementos muy significativos, la muerte de Cambises, en el año 523 a.C., se da de la misma forma como el mató al toro Apis, la función del sueño de Cambises y la anunciación de su muerte por un oráculo de la ciudad de Butona. Este canto en particular, narra cómo después del suceso, Cambises recupera la cordura, como si despertase de un sueño. Por ello, ¿la locura desarrollada del monarca persa al haber matado a Apis, pudo ser acaso un castigo de los dioses? Es curioso como ambos personajes mueren de la misma forma y como, Cambises al

herirse de la misma manera, parece salir de ese trance de demencia. De esta manera, se observa a este suceso como un evento paralelo que se desarrolla entre ambos personajes.

No debemos olvidar también, la imagen y la función que rige al recuerdo Cambises, al preguntar el nombre de la ciudad. Podemos ver la relación que hace Heródoto, en torno a la visión griega del fatalismo de los hombres, dictaminada por los dioses por medio de los oráculos.

Al resonar, pues, en sus oídos el nombre fatal de la ciudad, vuelto en sí Cambises de su locura, (...) desesperado por sentirse herido de muerte, comprendió por fin el sentido del oráculo aciago, y dijo estas palabras: «¡Aquí quieren los dioses, aquí los hados, que acabe Cambises, hijo de Ciro!». (Heródoto Libro III, LXIV, p. 122)

Otra imagen relevante lo podemos observar en la designación de Darío, en el año 522 a.C., como nuevo monarca de los persas. Luego de formada la Liga de los siete grandes de Persia, entre ellos Darío, retoman el poder de las manos de los magos, se discute la mejor forma de gobierno y se elige la forma en la elección del sucesor de Cambises. En tanto de "la elección al trono, acordaron tomar el medio de montar los seis a caballo en los arrabales de Susa, y nombrar y reconocer por rey a aquel cuyo caballo relinchase el primero a la salida del sol" (Heródoto Libro III, LXXXIV, p. 129).

Heródoto nos narra la treta en la forma como logra Darío que su caballo relinche al salir el sol. No obstante, preguntaríamos ¿Por qué necesariamente tendría que ser al salir el sol? El carácter de la realeza persa se ve ligada a los dioses védicas de las tribus iránicas, por lo tanto, el dios solar, denominado Mithra en la antigüedad, está muy presente en la elección del nuevo monarca como factor legitimador. De esta manera, Campos (2000) refiere:

El rey recibía su confirmación como tal por parte del astro solar. No podemos ignorar a quién hace referencia el sol. Mithra está presente pues en este acto de entronización del monarca, otorgando un carácter de legitimidad al poder (...) podemos afirmar que Mithra estaba vinculado estrechamente al ejercicio directo de la monarquía, como dios que velaba por el mantenimiento en el orden del país. (p.91)

Por consiguiente, vemos las señales que sucedieron en la elección de Darío como rey. Se describen la presencia de rayos y el retumbar de truenos como indicadores divinos en la elección. A diferencia de los griegos, que contaban con un panteón de dioses antropomorfos, el reflejo de las divinidades persas en un inicio como parte de la creencia de los pueblos iranios, era la divinización de las fuerzas o elementos de la naturaleza. Lecaros (2015), manifiesta que, a pesar que los persas asimilaban costumbres de otros pueblos, sin embargo, "un aspecto que los identifica como comunidad es su religiosidad, puesto que ellos no adoran a deidades con características humanas, sino más bien veneran y temen a las fuerzas de la naturaleza" (p. 47). Esto, además, es previo al culto de Ahura-Mazda que se impone, posteriormente con el reinado de Darío. La imagen que narra Heródoto en torno a las señales la describe así:

El caballo de Darío empieza sus relinchos. Al mismo tiempo ven todos correr un rayo por el sereno cielo y oyen retumbar un trueno, cuyos prodigios sucedidos a Darío fueron su inauguración para la corona, de modo que los otros competidores, bajando del caballo a toda prisa y doblando allí mismo la rodilla, le saludaron y reconocieron por su rey. (Libro III LXXXVI, p. 130)

De esta manera, el cuadro que nos retrata el autor, se ven inmerso de **símbolos** e imágenes cumplen una función legitimadora en acontecimientos importantes dentro de la narración de Heródoto. Algo que Eliade (1996) tambien resalta que, "es necesario subrayar el valor existencial del simbolismo religioso, es decir, el hecho de que un símbolo siempre señala una realidad o una situación en la que *se encuentra comprometida la existencia humana"* (p. 134).

Sin embargo, en años posteriores, se desarrollará una dinámica en la que Ahura Mazda, el principal dios del zoroastrismo, será representado en una diada o triada junto con Mithra, destacando la figura del rey como su representación terrenal. Este fenómeno refleja una complejidad en la comprensión y práctica religiosa que evoluciona con el tiempo. Rodríguez (1996) indica que:

En Behistum, una inscripción que relata los acontecimientos del final del reinado de Cambises y los primeros del de Darío I, puede verse a éste, con dos de sus seguidores, pisando, con el arco en la mano, la cabeza de Bardiya —Gaugamata—, mientras que tras éste esperan encadenados su juicio implacable los otros rebeldes y los «reyes falsos». Sobre ellos vuela Ahuramazda en el disco solar alado, ofreciendo al rey el anillo del poder. Esto es algo que se corresponde con los ideales del antiguo oriente. La inscripción en persa, babilónico y elamita, da pruebas de un espíritu basado en cierta responsabilidad ética ante la divinidad. (p.100)

Figura N°1: Sitio arqueológico de Behistum



Fuente: Michiel2005 (2018) / Flickr.com

Nota: El sitio de Behistum, Copia del relieve. El original fue realizado alrededor del año 520 a. C. por orden del rey Darío. Exposición Irán con piezas del Museo Nacional de Irán en Teherán.

Relatos de intervenciones divinas-míticas y su impacto en los eventos históricos

La presencia de elementos mágico-religiosos en la narrativa de Heródoto se hace evidente a través de intervenciones o acontecimientos poco habituales o incluso sobrenaturales en algunos casos. Estos sirven como preludio para eventos que marcarán un hito importante dentro del contexto de la narración, ya sea la caída de un imperio, el surgimiento de otro, o el advenimiento de un nuevo monarca o personaje que tomará el poder.

Por lo tanto, los relatos de Heródoto nos sumergen en estas relaciones que, desde la perspectiva griega, destacan el papel de los oráculos y sueños ligados al destino de los hombres. Para Eliade (1949), lo mágico-religioso es una expresión de la búsqueda humana de lo trascendente y lo sagrado, que se manifiesta a través de rituales, mitos y símbolos que conectan a los individuos con realidades más allá de lo mundano.

Dentro del Libro III "Talía", de las Historias de Heródoto, se nos narran un evento muy particular que tiene repercusión en la reconquista de Babilonia por parte de Darío en el año 539 a. C. Luego de recuperar el poder por parte de los líderes militares del Septemvirato, de las manos de los magos medos, y después de la expedición naval contra Samos; los babilonios se habían recusado a pagar impuesto, y previendo un sitio a la ciudad se proveyeron de lo necesario para soportarlo. Es así que, en este contexto, pasado tiempo del asedio de los persas hacia los babilonios, estos últimos se burlaban de las tropas del ejército de Darío. Heródoto nos narra que una vez un babilonio que merodeaba por las murallas, dijo:

«persas, ¿Qué hacéis aquí tanto tiempo ociosos? ¿Cómo no pensáis en volveros a vuestras casas? Pues en verdad os digo que cuando paran las mulas, entonces nos rendiréis.» Claro está que no creía el *babilonio que tal decía que la mula pudiera parir jamás. (Libro III, CLI, p.146)*

Esta frase sarcástica, terminará sirviendo como declaración premonitoria de la caída de Babilonia por segunda vez. “Había entrado ya el vigésimo mes del malogrado asedio, cuando a Zópiro, hijo de Megabizo, uno de los del septemvirato contra el Mago, le sucedió la rara monstruosidad de que pariera una de las mulas de su bagaje” (Heródoto, Libro III, CLIII, p.146). Podemos observar aquí, la particularidad de como lo místico sucede en lo correspondiente al hecho histórico, según la narración de Heródoto, a la caída de Babilonia por segunda vez.

El mismo Zópiro, avisado del nunca visto parto, y no acabando de dar crédito a nueva tan extraña, quiso ir en persona a cerciorarse; fue y vio por sus mismos ojos la cría recién nacida y recién parida la mula (...) recordó luego aquellas palabras que dijo allá un babilonio al principio del sitio, que cuando parieran las mulas se tomaría a Babilonia. Esta memoria, combinada con el parto reciente de su mula, hizo creer a Zópiro que debía, en efecto, ser tomada Babilonia, habiendo sido sin duda providencia del cielo, que previendo que su mula había de parir, permitió que el babilonio lo dijese de burlas”. (Heródoto, Libro III, CLIII, p.146)

No debemos olvidar un evento similar que sucede en el Libro I Clío, cuando en el año 546 a.C., el hijo de Creso, que es mudo, logra hablar por primera vez, como anuncio premonitorio de la caída de Sardes, a manos de Ciro. Esto marcará el fin del gran Creso y el inicio de su desgracia como previamente había sido pronosticado.

Habiendo enviado además a consultar el caso con el oráculo de Delfos, respondió la Pitia: Oh Creso, rey de Lidia y muchos pueblos, No con ardor pretendas en tu casa, Necio, escuchar la voz del hijo amado. Mejor sin ella está; porque si hablare, Comenzarán entonces tus desdichas. Cuando fue tomada la plaza, uno de los persas iba en seguimiento de Creso, a quien no conocía, con intención de matarle; oprimido el rey con el peso de su desventura, no procuraba evitar su destino, importándole poco morir al filo del alfanje. Pero su hijo, viendo al persa en ademán de descargar el golpe, lleno de agitación hace un esfuerzo para hablar, y exclama: —«Hombre, no mates a Creso.» Esta fue la primera vez que el mudo habló, y después conservó la voz todo el tiempo de su vida.” (Heródoto Libro I, LXXXV, p. 23)

De esta manera, se establece nuevamente un paralelismo entre ambos acontecimientos narrados por Heródoto. Los dos casos presentados, nos retratan en esencia la misma función. Por lo tanto, estas intervenciones o acontecimientos poco habituales, como la cría de una mula, o el habla de un mudo, terminan marcando una intervención mítica o divina en los eventos que repercuten en la narración histórica.

Así fue tomada Babilonia por segunda vez. Dueño ya Darío de los babilonios vencidos, tomó desde luego las providencias más oportunas, una sobre la plaza, mandando demoler todos sus muros y arrancar todas las puertas de la ciudad, de cuyas dos prevenciones ninguna había usado Ciro cuando se apoderó de Babilonia. (Libro III, CLIX, p.148)

4. Conclusiones

Heródoto, en su obra, a través de los relatos plasma un mundo donde lo divino y humano está estrechamente entrelazado de manera que, esta cosmovisión, influye en gran medida los hechos históricos. Los elementos mágico-religiosos abordados en su obra, resaltan la importancia de sueños, profecías oraculares y creencias en la búsqueda de conexión con lo sagrado.

En el Libro III, por ejemplo, se evidencia la relación entre la afrenta a Apis por parte de Cambises, interpretada como un castigo divino, que culmina en el desarrollo de una actitud demencial por parte del protagonista. Este evento cobra relevancia en su propia muerte, ya que la zona donde es herido mortalmente es la misma donde Cambises había herido a Apis con su propia falange. Este suceso es crucial, ya que es el catalizador que lo saca de su locura y le devuelve el juicio. Este hecho, evidencia un primer paralelismo entre ambos acontecimientos.

Además, se establece una conexión entre eventos particulares, míticos e incluso sobrenaturales que preceden a acontecimientos significativos en el curso histórico. Por ejemplo, la caída de Sardes, narrada en el Libro I, se refleja en el hecho sobrenatural del hijo mudo de Creso recuperando el habla, como una imagen premonitoria de la futura caída del imperio de su padre. Este suceso se entrelaza con el contexto de la reconquista de Babilonia, donde la burla de un babilonio, sugiere que la ciudad solo caería cuando las mulas dieran a luz. Este incidente se materializa en uno de los animales de Zópiro, lo que finalmente conduce a la victoria de los persas.

La simbología religiosa que rodea la coronación de Darío evidencia la atribución de la representación solar a Mithra, como un elemento legitimador del poder real que recae sobre el nuevo monarca. De esta manera, se visualiza la influencia de estos elementos mágico religiosos en los acontecimientos históricos dentro de la narrativa de Heródoto. Por lo tanto, la obra de Heródoto revela una profunda conexión entre lo mágico-religioso y los acontecimientos políticos y militares en la antigüedad.

Heródoto no solo narra los eventos políticos y militares, sino que también explora cómo estas sociedades interpretaron y respondieron a estos eventos a través del lente religioso y mágico. Además, la influencia de lo mágico-religioso en las decisiones políticas y militares es evidente en los relatos de Heródoto. Los líderes y gobernantes a menudo buscaban la orientación de oráculos y practicaban rituales religiosos antes de tomar decisiones importantes. Estas prácticas no solo proporcionaban una sensación de legitimidad y protección divina, sino que también influían en la toma de decisiones estratégicas.

Al reflexionar sobre la importancia del papel de lo mágico-religioso en la narrativa histórica de Heródoto, es crucial reconocer cómo estas creencias y prácticas no solo eran parte integral de la vida cotidiana, sino que también tenían un impacto significativo en la política y los asun-

tos militares. Por ende, el estudio de las creencias mágico-religiosas, nos permite comprender mejor cómo las sociedades humanas han interpretado el mundo que las rodea, y cómo estas interpretaciones, han influido en su comportamiento y organización social.

5. Literatura citada

Eliade, M. y Kitagawa, J. (1996) *Metodología de la Historia de las Religiones*. Editorial Paidos Ibérica. p.116-139.

Eliade, M. (1949)."El mito del eterno retorno: Arquetipos y repetición". Alianza Editorial

Campos Mendez, I. (2000) El dios iranio Mithra y la monarquía persa Aqueménida. *VEGUETA*, Número 5, 2000. p.85-98.

Graciani García, A. (2000). *Aportaciones de Heródoto de Halicarnaso al conocimiento de la construcción en la Antigüedad*. Instituto Juan de Herrera, CEHOPU, Universidad de Sevilla. p. 451-468. Recuperado de: https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/85962/GRACIANI%201.pdf?sequencs=1

Heródoto de Halicarnaso. Los nueve libros de la Historia. *Traducción del P. Bartolomé Pou, S. J.* (1727-1802)

Kurt A. (2013). La invención de un género: Heródoto, Tucídides y los retos de escribir prosa histórica a gran escala. *NOVA TELLVS,* 31(1), 35-67.

Lecaros Álvarez, M. (2015). Heródoto, un historiador de la cultura. Una aproximación a la Historia de las costumbres y las normas. *Revista Historias del Orbis Terrarun.* N°14. Pontifica Universidad Católica de Chile. 39-54. Recuperado de: *https://historiasdelorbisterrarum.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/12/06-miguel-lecaros-herc3b3doto-un-historiador-de-la-cultura2.pdf*

Ordoñez-Burgos, J. (2007). *Heródoto: ¿un clásico de la Historia en Occidente? Reflexiones en torno a la historiografía del pensamiento.* Nóesis. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades. *16*(32), 206-244. Recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/859/85903209.pdf

Rodríguez Valcárcel, J. A. (1996). La realeza persa y su estructuración administrativa en la "Historia" de Heródoto: una confrontación entre Oriente y Occidente. Recuperado de: http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:ETFSerie2-4EACFB-FB-6EFC-065C-0BFC-F8849AEFD2CF/Documento.pdf

Michiel 2005 (2018). *Museo Drents 2018 – Relieve en roca de Behistun.* [Imagen]. Flickr. https://www.flickr.com/photos/govert1970/29919049818/in/photostream/

Estrategias de gestión de conflictos socioambientales en proyectos mineros de capital chino: el caso Las Bambas, Apurímac (2015-2023)

Srta. Kimberly Antonella Vilchez Leyva
Universidad San Ignacio de Loyola
Correo electrónico: kimberly.vilchez@usil.pe

Srta. Helen Estrellita Leguia Mariano
Universidad San Ignacio de Loyola
Correo electrónico: helen.leguia@usil.pe

Srta. Enith Yasmin Saldaña Diaz
Universidad San Ignacio de Loyola
Correo electrónico: Enith.saldana@usil.pe

Srta. Valeria Caso Ceron
Universidad San Ignacio de Loyola
Correo electrónico: Valeria.caso@usil.pe

Recibido: 04 Septiembre 2026 Aceptado:25 Octubre 2026

Resumen: Durante el período 2015-2023, el proyecto minero Las Bambas, operado por MMG Limited en la provincia de Cotabambas (Apurímac), se consolidó como uno de los casos más representativos de conflictividad socioambiental asociada a la minería de capital chino en el Perú. Objetivo: este estudio analiza, mediante un enfoque comparativo-documental, la relación entre las estrategias de gestión de conflictos socioambientales -reactivas, preventivas y participativas- implementadas por MMG Limited y la dinámica de la conflictividad social en Apurímac durante dicho período. Método: se empleó un diseño cualitativo no experimental basado en la revisión sistemática de fuentes documentales secundarias (Defensoría del Pueblo, MINEM, informes de MMG Limited y literatura académica indexada), organizadas en tres bloques temáticos vinculados con los objetivos específicos de la investigación. Resultados: la evidencia documental muestra que las estrategias reactivas se asociaron con episodios de mayor intensidad, frecuencia y persistencia de la conflictividad, mientras que las estrategias preventivas y participativas -mesas de diálogo, acuerdos de inversión social y monitoreo ambiental participativo- se vincularon con niveles relativamente menores de conflictividad, aunque solo cuando incluyeron continuidad y seguimiento verificable. Conclusión: la gestión de conflictos en Las Bambas confirma que la reducción de la conflictividad social no depende únicamente de la existencia de espacios de diálogo, sino de su continuidad, seguimiento y cumplimiento efectivo, lo cual permite reconstruir la licencia social para operar y fortalecer la legitimidad institucional.

Palabras clave: Conflicto socioambiental/ Licencia social para operar/ Las Bambas/ Minería de capital chino/ Gestión de conflictos.

Abstract: during the 2015-2023 period, the Las Bambas mining project, operated by MMG Limited in the province of Cotabambas (Apurímac), became one of the most representative cases

of socio-environmental conflict associated with Chinese-capital mining in Peru. Objective: this study analyzes, through a comparative-documentary approach, the relationship between the socio-environmental conflict management strategies -reactive, preventive, and participatory- implemented by MMG Limited and the dynamics of social conflict in Apurímac during that period. Method: a qualitative, non-experimental design was applied, based on the systematic review of secondary documentary sources (Defensoría del Pueblo, MINEM, MMG Limited reports, and indexed academic literature), organized into three thematic blocks linked to the study's specific objectives. Results: the documentary evidence shows that reactive strategies were associated with episodes of greater intensity, frequency, and persistence of conflict, while preventive and participatory strategies -dialogue tables, social investment agreements, and participatory environmental monitoring- were linked to relatively lower levels of conflict, but only when they included continuity and verifiable follow-up. Conclusion: conflict management in Las Bambas confirms that the reduction of social conflict does not depend solely on the existence of dialogue spaces, but on their continuity, follow-up, and effective compliance, which helps rebuild the social license to operate and strengthen institutional legitimacy.

Keywords: Socio-environmental conflict/ Social license to operate/ Las Bambas/ Chinese-capital mining/ Conflict management.

Résumé: entre 2015 et 2023, le projet minier Las Bambas, exploité par MMG Limited dans la province de Cotabambas (Apurímac), s'est imposé comme l'un des cas les plus représentatifs de conflictualité socio-environnementale liée à l'exploitation minière à capitaux chinois au Pérou. Objectif : cette étude analyse, au moyen d'une approche comparative et documentaire, la relation entre les stratégies de gestion des conflits socio-environnementaux -réactives, préventives et participatives- mises en œuvre par MMG Limited et la dynamique de la conflictualité sociale en Apurímac durant cette période. Méthode : une conception qualitative non expérimentale a été appliquée, fondée sur l'examen systématique de sources documentaires secondaires (Defensoría del Pueblo, MINEM, rapports de MMG Limited et littérature académique indexée), organisées en trois blocs thématiques liés aux objectifs spécifiques de la recherche. Résultats : les données documentaires montrent que les stratégies réactives ont été associées à des épisodes de plus grande intensité, fréquence et persistance des conflits, tandis que les stratégies préventives et participatives -tables de dialogue, accords d'investissement social et suivi environnemental participatif- ont été liées à des niveaux relativement plus faibles de conflictualité, mais seulement lorsqu'elles comportaient continuité et suivi vérifiable. Conclusion : la gestion des conflits à Las Bambas confirme que la réduction de la conflictualité sociale ne dépend pas uniquement de l'existence d'espaces de dialogue, mais de leur continuité, de leur suivi et de leur respect effectif, ce qui permet de reconstruire la licence sociale d'exploitation et de renforcer la légitimité institutionnelle.

Mots-clés: Conflit socio-environnemental/ Licence sociale d'exploitation/ Las Bambas, exploitation minière à capitaux chinois/ Gestion des conflits.

1. Introducción

Durante los últimos años, el Perú ha fortalecido su posición como país minero destacado en América Latina, debido a su importante producción de minerales como cobre, zinc, plata y oro. Este crecimiento ha generado beneficios económicos para el país; sin embargo, también ha esta-

do acompañado por el incremento de conflictos socioambientales en regiones de alta actividad extractiva, como Apurímac.

La región Apurímac se ubica en el sur-centro del Perú y limita con Cusco, Ayacucho y Arequipa; presenta, además, una alta presencia de concesiones mineras. El proyecto Las Bambas se encuentra principalmente en la provincia de Cotabambas, mientras que el corredor minero del sur conecta la operación con rutas de transporte hacia zonas de salida comercial. Este corredor atraviesa territorios comunales y constituye uno de los principales vectores de conflictividad documentados por la Defensoría del Pueblo durante el período 2015-2023.

Estos conflictos se originan principalmente por disputas relacionadas con el uso de recursos naturales, los impactos ambientales en el agua y el suelo, la ocupación del territorio, así como por la idea de que los beneficios generados por la actividad minera no se distribuyen de manera equitativa entre las empresas, el Estado y las comunidades locales. En este contexto, la presencia de empresas mineras de capital chino ha adquirido especial relevancia, particularmente en el proyecto Las Bambas, operado por MMG Limited en la provincia de Cotabambas. Durante el período 2015-2023, este proyecto se convirtió en uno de los casos más representativos de conflictividad socioambiental en el Perú, debido a la recurrencia de protestas, bloqueos viales, declaratorias de emergencia e intervenciones estatales.

Si bien diversos estudios han analizado las problemáticas socioambientales ligadas a la minería en el Perú y el creciente papel de las inversiones chinas en América Latina, todavía existe un vacío en la literatura respecto a la efectividad de las estrategias de gestión de conflictos implementadas por empresas mineras de capital chino en contextos locales específicos. Aunque existen investigaciones sobre inversiones mineras chinas en Ecuador, Chile y Argentina, son limitados los estudios que examinan de manera específica la gestión de conflictos socioambientales en el caso peruano y, particularmente, en el proyecto Las Bambas. Los estudios existentes han abordado, en mayor medida, los impactos económicos, sociales o ambientales de la actividad extractiva. Un antecedente reciente es el de Maiza-Larrarte y Claudio-Quiroga (2025), quienes realizan una evaluación intermedia de las consecuencias socioeconómicas y ambientales de Las Bambas, evidenciando un balance mixto en un contexto de conflictividad intensa entre las comunidades y la empresa concesionaria. No obstante, aún se observa un desarrollo limitado de investigaciones enfocadas en analizar cómo los mecanismos de diálogo, negociación y relacionamiento comunitario contribuyen a prevenir o reducir la conflictividad social.

El problema de investigación planteado es el siguiente: ¿Cómo se relacionan los tipos de estrategias de gestión de conflictos socioambientales reactivas, preventivas y participativas implementadas por empresas mineras de capital chino con la dinámica de la conflictividad social en Apurímac durante el período 2015-2023? El objetivo general planteado en esta investigación es analizar, mediante un enfoque comparativo-documental, la relación entre las estrategias de gestión de conflictos socioambientales implementadas por empresas mineras de capital chino y la dinámica de la conflictividad social en Apurímac durante el período 2015-2023.

A partir de este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos: OE1) Describir el contexto histórico-operativo del proyecto Las Bambas y los actores involucrados en la conflictividad socioambiental en Apurímac durante el período 2015-2023, correspondiente al bloque de resultados 4.1; OE2) Analizar las características y efectos de las estrategias reactivas implementadas por MMG Limited frente a los conflictos sociales asociados al proyecto Las Bambas, correspondiente al bloque de resultados 4.2; y OE3) Evaluar el impacto de las estrate-

gias preventivas y participativas sobre la intensidad, frecuencia y persistencia de los conflictos socioambientales registrados durante el período 2015-2023, correspondiente al bloque de resultados 4.3.

El artículo se organiza en las siguientes secciones. Luego de esta introducción, la sección Material y métodos explica el enfoque cualitativo, los criterios de selección de fuentes y el procedimiento de revisión documental empleado, incluida la clasificación operativa de las estrategias de gestión de conflictos. La sección Resultados expone los hallazgos organizados en tres bloques temáticos vinculados con los objetivos específicos. La sección Discusión analiza dichos resultados a la luz del marco conceptual presentado en esta introducción. Finalmente, las secciones Agradecimiento y Conclusiones cierran el artículo, esta última verificando la hipótesis planteada a partir de la evidencia documental del período 2015-2023.

La hipótesis de investigación sostiene que las estrategias reactivas de gestión de conflictos socioambientales implementadas en el proyecto Las Bambas se asocian con mayores niveles de intensidad, frecuencia y persistencia de la conflictividad social en Apurímac durante el período 2015-2023. En contraste, las estrategias preventivas y participativas contribuyen a reducir dichos niveles de conflictividad al fortalecer el diálogo entre la empresa, el Estado y las comunidades, así como la legitimidad institucional y la participación ciudadana. Se anticipa que los resultados confirmarán esta hipótesis con una matización relevante: la reducción de la conflictividad no depende únicamente de la existencia de mesas de diálogo, acuerdos comunitarios o mecanismos participativos, sino también de su continuidad, seguimiento y cumplimiento efectivo.

La teoría de los stakeholders sostiene que las organizaciones deben considerar los intereses de los actores vinculados a su actividad, tanto de quienes inciden en ella como de quienes reciben sus efectos (Freeman, 1984). Mitchell et al. (1997) proponen evaluar a estos actores según poder, legitimidad y urgencia, criterio pertinente para comprender por qué las comunidades de Cotabambas, pese a contar con menor poder económico frente a MMG Limited, concentran legitimidad territorial y capacidad de movilización.

La legitimidad institucional explica por qué la continuidad de un proyecto minero no depende únicamente del cumplimiento de permisos legales, sino de la percepción social sobre su actuación (Suchman, 1995; Scott, 1995). Deephouse y Suchman (2008) añaden que esta legitimidad debe renovarse de manera continua mediante prácticas coherentes con las expectativas de los actores involucrados.

Los principios rectores sobre empresas y derechos humanos (Ruggie, 2011) se organizan en torno a proteger, respetar y remediar, y permiten observar si la gestión empresarial y estatal incorpora mecanismos de prevención, participación y reparación frente a los conflictos extractivos. Rodríguez-Garavito (2014) advierte que estos conflictos se intensifican cuando las comunidades perciben que sus derechos territoriales, ambientales o participativos no son atendidos de manera efectiva.

El conflicto socioambiental se entiende como una disputa entre actores con intereses divergentes por el acceso, uso o afectación de recursos naturales y territorios, disputa que en el Perú suele presentar una dinámica cíclica de protesta, negociación parcial y reaparición (Ormaechea, 2015; Walter y Urkidi, 2017). Este concepto se articula con el extractivismo, entendido como un modelo de extracción masiva de recursos con escaso procesamiento local (Gudynas, 2015;

Svampa, 2019), y con evidencia de que la conflictividad no gestionada adecuadamente se traduce en costos empresariales concretos (Franks et al., 2014). Bebbington et al. (2008) muestran, para el conjunto de los Andes, que estos movimientos sociales vinculados a la minería expresan disputas por los medios de vida y el desarrollo territorial rural, patrón que se replica en el caso de Las Bambas. Conde y Le Billon (2017) sistematizan, además, los factores que explican por qué unas comunidades resisten los proyectos mineros y otras no, entre ellos la percepción de impactos, la falta de participación y la desconfianza hacia la empresa.

La licencia social para operar es la aceptación que una comunidad brinda a un proyecto extractivo más allá del cumplimiento legal, sustentada en la confianza y la legitimidad construidas con los actores locales (Thomson y Boutilier, 2011). Esta licencia es dinámica y puede deteriorarse cuando la empresa modifica condiciones relevantes sin participación suficiente (Prno y Slocombe, 2012; Moffat y Zhang, 2014); en contextos peruanos, su fortalecimiento depende de la legitimidad y la confianza construidas de manera sostenida con las comunidades (Saenz, 2019).

2. Material y métodos

Este estudio fue desarrollado desde un enfoque cualitativo de tipo no experimental, mediante la aplicación de la técnica de revisión documental y análisis de fuentes secundarias. Este diseño resulta pertinente, dado que el objeto de estudio -la gestión de la conflictividad social y las estrategias de intervención en el proyecto minero Las Bambas- requiere la comprensión e interpretación de procesos sociales, económicos y políticos que no son susceptibles de medición directa en el contexto de esta investigación.

A partir de los conceptos teóricos presentados en la introducción, las estrategias de gestión de conflictos se clasifican operativamente en reactivas, preventivas y participativas. Las estrategias reactivas se aplican después del escalamiento del conflicto; las preventivas buscan anticipar demandas y reducir riesgos antes de protestas o bloqueos; y las participativas incorporan a comunidades, empresa y Estado en espacios de diálogo, monitoreo y seguimiento de compromisos. Esta clasificación constituye la herramienta analítica central del estudio y permite examinar la intensidad, frecuencia y persistencia de la conflictividad en Las Bambas.

La recolección de información se realizó a través de la identificación, selección y análisis sistemático de fuentes documentales relevantes para el período 2015-2023 y tomando como referencia el espacio territorial asociado al proyecto minero Las Bambas en el Perú. Las fuentes consultadas incluyen artículos científicos indexados en bases de datos como Scopus, Redalyc, Dialnet y Google Scholar; reportes de organismos nacionales como el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y la Defensoría del Pueblo; informes de sostenibilidad de MMG Limited; documentos institucionales del Estado peruano; y literatura académica especializada en gestión de conflictos socioambientales y minería.

La búsqueda documental se realizó en Scopus, Redalyc, Dialnet, Google Scholar y ProQuest mediante la ecuación: ("Las Bambas" OR "proyecto minero Las Bambas") AND ("conflicto socioambiental" OR "conflictividad social" OR "gestión de conflictos") AND ("estrategia" OR "política pública" OR "gobernanza" OR "Perú"). Se recuperaron documentos académicos, reportes institucionales y fuentes complementarias relacionadas con Las Bambas, conflictos socioambientales, licencia social para operar, extractivismo y gestión de stakeholders. Como recurso auxiliar se emplearon herramientas de inteligencia artificial para identificar fuentes

adicionales y organizar la información, verificando toda la evidencia en sus fuentes originales antes de incorporarla al análisis.

Los criterios de selección de fuentes aplicados fueron los siguientes: pertinencia temática directa con el problema de investigación; procedencia de autores o instituciones reconocidos en el campo disciplinar; publicación preferentemente dentro de los últimos diez años, con excepción de fuentes históricas indispensables para el análisis del período estudiado; y disponibilidad en acceso abierto o en repositorios académicos institucionales.

El procedimiento analítico consistió en la organización temática de la información recolectada en categorías correspondientes a los tres objetivos específicos de la investigación. Para cada categoría, se identificaron los principales hallazgos mediante una matriz comparativa, se contrastaron las perspectivas de distintos autores, instituciones y fuentes documentales, y se sistematizó la evidencia con el fin de vincular las estrategias de gestión identificadas -reactivas, preventivas o participativas- con la intensidad y persistencia de la conflictividad analizada. Este procedimiento permitió responder de manera ordenada a la pregunta de investigación planteada.

El análisis desarrollado fue de naturaleza descriptiva y, cuando correspondió, comparativa, debido a que se identificaron patrones, tendencias y diferencias en el tratamiento de la conflictividad durante el período estudiado. No se realizaron entrevistas, encuestas ni recolección de datos primarios, por lo que los resultados se construyeron exclusivamente a partir de evidencia documental proveniente de fuentes secundarias. Como apoyo complementario para la búsqueda, organización y mejora de redacción del manuscrito, se utilizaron herramientas de inteligencia artificial; sin embargo, toda la información fue revisada y contrastada con sus fuentes originales. Asimismo, el diseño de la investigación, los criterios de selección de fuentes, los juicios analíticos, las interpretaciones y los planteamientos finales son responsabilidad exclusiva de las autoras.

3. Resultados

Los resultados se organizan en tres bloques directamente vinculados con los objetivos específicos del estudio. El bloque 4.1 responde al OE1, el bloque 4.2 responde al OE2 y el bloque 4.3 responde al OE3. Esta organización mantiene la trazabilidad entre los objetivos de investigación, la evidencia documental revisada y los hallazgos presentados para el período 2015-2023 en Apurímac, con énfasis en el proyecto minero Las Bambas.

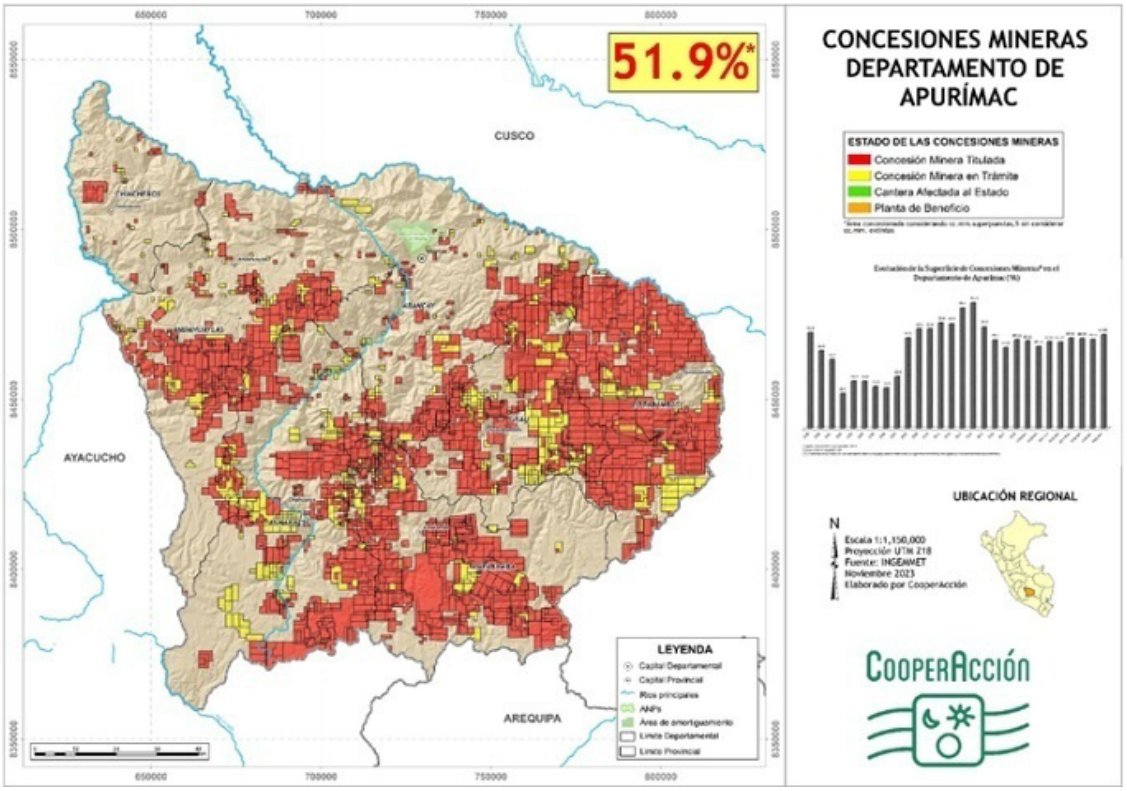
3.1. Contexto histórico-operativo y actores de la conflictividad socioambiental en Las Bambas (2015-2023)

El contexto previo a 2015 permite comprender el origen de la conflictividad posterior. La información revisada registra que Las Bambas atravesó una etapa de planificación, construcción de infraestructura, transferencia empresarial y reasentamiento de la comunidad de Fuerabamba antes del inicio de operaciones comerciales. La cronología del caso muestra que el proyecto pasó de Xstrata a Glencore y luego a MMG Limited, al mismo tiempo que se consolidaban componentes operativos y territoriales que luego serían relevantes para las demandas comunitarias (Defensoría del Pueblo, 2019; Las Bambas, s. f.).

Durante el período 2015-2023, Las Bambas se consolidó como una de las operaciones cupríferas más relevantes del Perú por su escala productiva y por su incidencia en la economía minera

nacional. La operación se ubica en Apurímac, principalmente en la provincia de Cotabambas, y es administrada por MMG Limited, empresa vinculada a capital chino. Las fuentes revisadas registran inversión, empleo y dinamismo económico regional; sin embargo, también documentan episodios recurrentes de conflicto socioambiental vinculados con modificaciones del Estudio de impacto ambiental, uso del corredor minero, tránsito de vehículos pesados, preocupaciones por agua y aire, demandas de inversión social y participación comunitaria (Defensoría del Pueblo, 2018, 2022; MINEM, 2023; MMG Limited, 2023).

Figura N°1: Concesiones mineras del departamento de Apurímac. Nota. Tomado de CooperAcción (2023).



Fuente: elaboración en base a información del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

La información documental permite identificar tres grupos de stakeholders principales en la dinámica de la conflictividad. El primero corresponde a las comunidades locales de Cotabambas y de zonas vinculadas al corredor minero, cuyas demandas se relacionaron con territorio, recursos naturales, compensaciones, empleo local, cumplimiento de acuerdos y participación en decisiones vinculadas al proyecto. El segundo corresponde a MMG Limited, como empresa operadora responsable de la continuidad productiva, los compromisos sociales y el relacionamiento comunitario. El tercero corresponde al Estado peruano, mediante el gobierno nacional, gobiernos subnacionales, la Defensoría del Pueblo y entidades sectoriales, que participaron como reguladores, mediadores y garantes del orden público (Defensoría del Pueblo, 2018, 2022; MMG Limited, 2023).

Los conflictos asociados a Las Bambas pueden organizarse documentalmente en tres tipos principales. El primero corresponde a conflictos por impactos ambientales percibidos o reportados, relacionados con agua, aire, suelo, tránsito de transporte minero y posibles efectos sobre actividades agrícolas o ganaderas. El segundo corresponde a conflictos por uso del territorio,

especialmente por el tránsito de camiones en el corredor minero y el uso de rutas comunales. El tercero corresponde a conflictos por incumplimiento de acuerdos, vinculados con contratación local, inversión social, compensaciones territoriales y mecanismos de monitoreo ambiental. Esta clasificación ordena los hallazgos documentales y permite relacionar las causas del conflicto con la dinámica de protestas, bloqueos, negociaciones y mesas de diálogo (Defensoría del Pueblo, 2022, 2023; MMG Limited, 2023).

Tabla N°1: Actores y demandas documentadas en la conflictividad socioambiental de Las Bambas, 2015-2023.

Actor identificado	Rol en el conflicto	Demandas o funciones registradas	Fuente documental
Comunidades locales de Cotabambas y zonas del corredor minero	Actor social directamente afectado o movilizado	Territorio, agua, aire, compensaciones, empleo local, cumplimiento de acuerdos y participación comunitaria	Defensoría del Pueblo (2018, 2022)
MMG Limited	Empresa operadora del proyecto Las Bambas	Continuidad operativa, compromisos sociales, inversión comunitaria y relacionamiento con comunidades	MMG Limited (2023)
Estado peruano	Regulador, mediador y garante del orden público	Intervención institucional, mesas de diálogo, declaratorias de emergencia y seguimiento de conflictos sociales	Defensoría del Pueblo (2022, 2023); MINEM (2023)

Fuente: Elaboración propia con base en Defensoría del Pueblo (2018, 2022, 2023), MINEM (2023) y MMG Limited (2023).

3.2. Estrategias reactivas implementadas por MMG Limited frente a los conflictos sociales

Las estrategias reactivas identificadas en el caso Las Bambas se caracterizaron por responder después de que el conflicto ya se había manifestado mediante protestas, bloqueos de vías, paralizaciones o presión comunitaria. En la documentación revisada, estas respuestas incluyeron negociaciones posteriores al escalamiento, intervención estatal luego de la protesta, declaratorias de emergencia y acuerdos alcanzados en contextos de alta tensión social. Este tipo de gestión aparece con mayor frecuencia en los años en que las demandas comunitarias no fueron canalizadas previamente mediante mecanismos institucionales permanentes o espacios de diálogo sostenidos (Defensoría del Pueblo, 2018, 2022).

El bloqueo del corredor minero constituye uno de los episodios más representativos de la gestión reactiva de la conflictividad en Las Bambas. Durante el período analizado, diversas comunidades vinculadas al área de influencia del proyecto y al corredor minero realizaron medidas de fuerza asociadas a reclamos acumulados por acuerdos pendientes, modificaciones ambientales, compensaciones territoriales y afectaciones percibidas por el tránsito de vehículos pesados. En estos casos, la respuesta de la empresa y del Estado se produjo principalmente después del inicio de la protesta, mediante negociaciones de emergencia, instalación de mesas de diálogo e intervención institucional (Defensoría del Pueblo, 2018, 2019, 2022).

La sistematización documental muestra que los episodios gestionados de manera reactiva coincidieron con mayores niveles de intensidad, frecuencia y persistencia del conflicto. En términos de intensidad, los conflictos escalaron hacia bloqueos, paros, paralizaciones e intervención de autoridades. En términos de frecuencia, se registró la repetición de reclamos similares en distintos momentos del período estudiado. En términos de persistencia, los conflictos reaparecieron

cuando los acuerdos previos fueron percibidos como pendientes, incompletos o insuficientes. Esta evidencia no constituye una prueba estadística causal, pero sí permite identificar una asociación documental entre respuestas tardías y conflictividad recurrente (Defensoría del Pueblo, 2018, 2022, 2023).

Tabla N°2: Estrategias reactivas y dinámica de la conflictividad social en Las Bambas, 2015-2023.

Hito documentado	Respuesta reactiva identificada	Dinámica de conflictividad asociada	Fuente documental
Protestas por modificaciones ambientales y demandas comunitarias	Intervención posterior al escalamiento y negociación de emergencia	Intensidad alta por movilización social y cuestionamientos al proyecto	Defensoría del Pueblo (2018, 2022)
Bloqueos del corredor minero	Mediación estatal y acuerdos bajo presión social después de la medida de fuerza	Frecuencia y persistencia altas por repetición de reclamos vinculados al corredor minero	Defensoría del Pueblo (2018, 2019, 2022)
Reaparición de reclamos por acuerdos pendientes	Reactivación de espacios de diálogo luego de nuevas protestas o paralizaciones	Persistencia del conflicto por acuerdos percibidos como incompletos o incumplidos	Defensoría del Pueblo (2022, 2023)

Fuente: Elaboración propia con base en Defensoría del Pueblo (2018, 2019, 2022, 2023).

3.3. Estrategias preventivas y participativas frente a la intensidad, frecuencia y persistencia de los conflictos socioambientales

Las estrategias preventivas y participativas registradas en el caso Las Bambas incluyeron mesas de diálogo tripartitas, acuerdos de inversión social, espacios de negociación permanente y mecanismos de monitoreo ambiental participativo. Las mesas de diálogo reunieron a representantes del Estado, la empresa y las comunidades para tratar demandas, registrar compromisos y canalizar reclamos. Los acuerdos de inversión social se orientaron a infraestructura, empleo local, servicios comunitarios y atención de demandas territoriales. Por su parte, el monitoreo ambiental participativo incorporó a representantes comunitarios en procesos de seguimiento y verificación de información ambiental (Defensoría del Pueblo, 2023; MMG Limited, 2023).

Durante los períodos en que los espacios de diálogo estuvieron activos, las fuentes revisadas registran una canalización institucional de las demandas comunitarias y una reducción relativa de la intensidad de algunos episodios de conflicto. No obstante, la documentación también muestra que los reclamos reaparecieron cuando los acuerdos quedaron pendientes, cuando el seguimiento fue insuficiente o cuando las comunidades percibieron que los compromisos asumidos no habían sido cumplidos en los plazos previstos. Por ello, los mecanismos preventivos y participativos se vinculan documentalmente con menores niveles relativos de conflictividad solo cuando presentan continuidad, seguimiento y cumplimiento verificable (Defensoría del Pueblo, 2022, 2023; MMG Limited, 2023).

La comparación documental entre estrategias reactivas, preventivas y participativas permite identificar diferencias en la intensidad, frecuencia y persistencia del conflicto. Las estrategias reactivas se relacionaron con episodios de mayor intensidad, debido a que fueron aplicadas des-

pués del inicio de protestas, bloqueos o paralizaciones. Las estrategias preventivas se asociaron con niveles medios o menores de conflictividad cuando permitieron anticipar demandas y generar canales de atención antes del escalamiento. Las estrategias participativas se vincularon con menores niveles relativos de frecuencia y persistencia cuando incorporaron a comunidades, empresa y Estado en espacios de diálogo y seguimiento de compromisos (Defensoría del Pueblo, 2018, 2022, 2023; MMG Limited, 2023).

Tabla N°3: Evolución documental del conflicto socioambiental en Las Bambas, 2015-2023.

Año	Hito relevante	Estrategia predominante	Nivel de conflictividad
2015	Inicio de operaciones y consolidación del proyecto	Preventiva inicial	Media
2016	Protestas por modificaciones ambientales y demandas comunitarias	Reactiva	Alta
2018	Bloqueos del corredor minero y medidas de fuerza	Reactiva	Alta
2019	Instalación de mesas de diálogo y negociación institucional	Participativa	Media
2020	Tensiones por restricciones, pandemia y compromisos pendientes	Reactiva	Media
2021	Nuevos bloqueos, paralizaciones y reclamos acumulados	Reactiva	Alta
2022	Reanudación de negociaciones e intervención estatal	Participativa	Media
2023	Inversión social, monitoreo ambiental y seguimiento de compromisos	Preventiva/participativa	Baja-media

Fuente: Elaboración propia con base en Defensoría del Pueblo (2018, 2019, 2022, 2023), MINEM (2023) y MMG Limited (2023).

4. Discusión

Los hallazgos del Bloque 3.1 permiten discutir el contexto histórico-operativo de Las Bambas desde el concepto de licencia social para operar. El antecedente de transferencia del proyecto, el reasentamiento de Fuerabamba, las modificaciones del EIA y el uso del corredor minero muestran que la aceptación comunitaria no dependió únicamente de permisos legales, sino de la confianza construida entre empresa, Estado y comunidades. A la luz de Thomson y Boutilier (2011), estos cambios pudieron deteriorar la licencia social de MMG Limited, porque la comunidad percibió decisiones relevantes sin participación suficiente. Esta lectura es coherente con Prno y Slocombe (2012), quienes sostienen que la licencia social es dinámica y puede perderse cuando las condiciones del proyecto cambian sin legitimidad social suficiente. Desde la legitimidad institucional y los Principios rectores sobre empresas y derechos humanos, esta situación también evidencia que el cumplimiento formal de permisos no fue suficiente para sostener la aceptación social del proyecto, pues la continuidad operativa dependía de prácticas verificables, participación efectiva y mecanismos de reparación frente a las expectativas comunitarias (Suchman, 1995; Ruggie, 2011).

Los hallazgos del Bloque 3.2 muestran que las estrategias reactivas se vincularon con episodios de mayor intensidad y persistencia. Desde el enfoque de extractivismo de Gudynas (2015), esta

dinámica puede entenderse como parte de un patrón en el que los beneficios económicos de la minería se concentran en escalas nacionales o empresariales, mientras los costos territoriales se experimentan localmente. A su vez, Svampa (2019) permite interpretar la conflictividad de Apurímac como expresión de neoextractivismo, debido a que el discurso de inversión y crecimiento coexistió con tensiones por territorio, agua, tránsito pesado y participación ciudadana. En ese sentido, los conflictos de Las Bambas reproducen rasgos comunes de zonas extractivas donde la gobernanza opera más por respuesta a crisis que por prevención, lo cual es consistente con la evidencia de Franks et al. (2014) sobre los costos empresariales que genera un conflicto no gestionado a tiempo.

La analogía con el caso Tintaya en Espinar refuerza esta interpretación. En ambos casos, la conflictividad no se redujo a desacuerdos puntuales, sino que estuvo asociada a demandas territoriales, cuestionamientos ambientales y exigencias de participación comunitaria. De Echave (2009) muestra que Tintaya combinó momentos de protesta y diálogo, lo cual permite comparar cómo las mesas de negociación pueden canalizar tensiones, pero no sustituyen la necesidad de atender causas estructurales. Esta analogía permite ubicar a Las Bambas dentro de una trayectoria más amplia de conflictividad minera en el sur andino peruano, en línea con los factores de resistencia comunitaria sistematizados por Conde y Le Billon (2017).

Los hallazgos del Bloque 3.3 se relacionan con la teoría de los stakeholders. Freeman (1984) señala que las organizaciones deben gestionar las relaciones con todos los actores afectados por sus decisiones, y Mitchell et al. (1997) advierten que los actores con menor poder económico pueden volverse centrales cuando poseen legitimidad y urgencia. En Las Bambas, las comunidades de Cotabambas y del corredor minero no tenían el mismo poder económico que MMG Limited, pero sí capacidad de movilización y legitimidad territorial. Por ello, las estrategias preventivas y participativas tuvieron mejores resultados relativos cuando reconocieron a estas comunidades como stakeholders centrales y no solo como actores de protesta. Está lectura también se vincula con la debida diligencia empresarial, porque la gestión preventiva requiere identificar impactos, atender reclamos y realizar seguimiento verificable de compromisos sociales y ambientales (Shift & Mazars, 2015), en línea con la evidencia de Saenz (2019) sobre la construcción sostenida de legitimidad y confianza en el contexto minero peruano.

La lectura integrada de los tres bloques permite matizar la hipótesis de investigación. Las estrategias reactivas no explican por sí solas toda la conflictividad, pero sí aparecen asociadas a momentos de mayor intensidad, frecuencia y persistencia. En cambio, las estrategias preventivas y participativas se vinculan con una reducción relativa de la conflictividad cuando incluyen continuidad, seguimiento y cumplimiento efectivo. Esta discusión confirma que la gestión de conflictos en Las Bambas no puede evaluarse solo por la existencia de mesas de diálogo, sino por su capacidad para reconstruir licencia social, sostener legitimidad institucional, atender causas territoriales y reconocer adecuadamente a los stakeholders locales.

5. Agradecimiento

Las autoras agradecen a la Universidad San Ignacio de Loyola por el espacio formativo brindado para el desarrollo de este artículo. Asimismo, expresan su reconocimiento a la Defensoría del Pueblo, al Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y a MMG Limited, instituciones cuyas fuentes documentales permitieron sustentar el análisis presentado. Finalmente, agradecen al

docente del curso, el profesor Jimmy Alexander Cárdenas Bellido, por su acompañamiento durante el proceso de investigación.

6. Conclusiones

La investigación desarrollada permitió determinar que las estrategias de gestión de conflictos socioambientales implementadas en el proyecto Las Bambas durante el período 2015-2023 se relacionaron de manera documentada y consistente con la dinámica de la conflictividad social en Apurímac. El análisis evidencia que la conflictividad no respondió únicamente a episodios aislados de protesta, sino a un proceso acumulativo asociado con antecedentes históricos del proyecto, modificaciones ambientales, uso del corredor minero, demandas territoriales, percepción de compromisos pendientes y distintos niveles de participación comunitaria. De este modo, la investigación responde a la pregunta sobre cómo las estrategias reactivas, preventivas y participativas se vincularon con la intensidad, frecuencia y persistencia de los conflictos socioambientales.

Los resultados confirman la hipótesis planteada: las estrategias reactivas de gestión de conflictos socioambientales implementadas en el proyecto Las Bambas se asocian con mayores niveles de intensidad, frecuencia y persistencia de la conflictividad social en Apurímac durante el período 2015-2023. En contraste, las estrategias preventivas y participativas contribuyen a reducir dichos niveles de conflictividad al fortalecer el diálogo entre la empresa, el Estado y las comunidades, así como la legitimidad institucional y la participación ciudadana. Esta hipótesis se confirma con una matización relevante: la existencia de mesas de diálogo, monitoreo ambiental o acuerdos comunitarios no fue suficiente por sí sola para reducir la conflictividad, pues su efectividad dependió de la continuidad, el seguimiento y el cumplimiento verificable de los compromisos asumidos. En ese sentido, el Bloque 4.1 muestra que la trayectoria histórica del proyecto afectó la licencia social para operar; el Bloque 4.2 evidencia que las respuestas reactivas predominaron en los episodios de mayor tensión; y el Bloque 4.3 señala que las estrategias preventivas y participativas redujeron parcialmente la conflictividad cuando incorporaron participación y seguimiento sostenido.

Las limitaciones del estudio se concentran en dos aspectos. Primero, el análisis depende de fuentes secundarias e institucionales, principalmente reportes de la Defensoría del Pueblo, documentos del MINEM e informes de sostenibilidad de MMG Limited, las cuales permiten reconstruir la cronología y los actores del conflicto, pero pueden reflejar perspectivas parciales del Estado o de la empresa. Segundo, al tratarse de una revisión documental, no se incorporaron entrevistas ni trabajo de campo, por lo que no se recoge de manera directa la voz de las comunidades afectadas ni todas las superposiciones posibles entre estrategias durante cada episodio de conflictividad.

En términos de proyección, el caso Las Bambas constituye un referente relevante para estudiar el diseño de protocolos de gestión preventiva de conflictos socioambientales en el Perú. La evidencia revisada sugiere que futuras investigaciones podrían profundizar en la participación comunitaria, la transparencia en las modificaciones ambientales, el seguimiento de compromisos y el reconocimiento efectivo de los stakeholders locales. Estos aspectos son centrales para evaluar si los patrones de conflictividad observados en Las Bambas se reproducen o se transforman en otros proyectos mineros del país.

7. Literatura citada

Bebbington A., D. Humphreys Bebbington, J. Bury, J. Lingan, J.P. Muñoz & M. Scurrah (2008). Mining and social movements: Struggles over livelihood and rural territorial development in the Andes. World Dev., 36(12), 2888--2905.https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305-750X(08)00240-4

Conde M. & P. Le Billon (2017). Why do some communities resist mining projects while others do not? Extr. Ind. Soc., 4(3), 681--697. https://doi.org/10.1016/j.exis.2017.04.009

CooperAcción. (2023, abril). Mapa de concesiones mineras del departamento de Apurímac [Mapa; datos de INGEMMET]. https://cooperaccion.org.pe/wp-content/uploads/2023/08/03-MAPA-DE-CONCESIONES-MINERAS-DEL-DEPARTAMENTO-DE-APURIMAC_Abril-2023.pdf

De Echave J. (2009). El caso Tintaya: Entre el diálogo y la protesta. En J. De Echave, A. Diez, L. Huber, B. Revesz, X. Ricard Lanata & M. Tanaka, Minería y conflicto social (pp. 123--158). Instituto de Estudios Peruanos; Centro Bartolomé de las Casas; Centro de Investigación y Promoción del Campesinado; Consorcio de Investigación Económica y Social.

Deephouse D.L. & M. Suchman (2008). Legitimacy in organizational institutionalism. En R. Greenwood, C. Oliver, K. Sahlin, & R. Suddaby (Eds.), The SAGE handbook of organizational institutionalism (pp. 49--77). SAGE.

Defensoría del Pueblo. (2018). Reporte mensual de conflictos sociales N.° 170: Abril 2018. https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/Reporte-Mensual-de-Conflictos-Sociales-N%C2%B0-170-Abril-2018.pdf

Defensoría del Pueblo. (2019, 5 de abril). Cronología del conflicto social del caso Las Bambas. https://www.defensoria.gob.pe/cronologia-del-conflicto-social-del-caso-las-bambas/

Defensoría del Pueblo. (2022). Reporte mensual de conflictos sociales N.° 220: Junio 2022. https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2022/07/Reporte-Mensual-de-Conflictos-Sociales-N%C2%B0-220-Junio-2022.pdf

Defensoría del Pueblo. (2023). Paz social y prevención de conflictos. https://www.defensoria.gob.pe/areas_tematicas/paz-social-y-prevencion-de-conflictos/

Donaldson T. & L.E. Preston (1995). The stakeholder theory of the corporation: Concepts, evidence, and implications. Acad. Manage. Rev., 20(1), 65--91. https://doi.org/10.2307/258887

Franks D.M., R. Davis, A.J. Bebbington, S.H. Ali, D. Kemp & M. Scurrah (2014). Conflict translates environmental and social risk into business costs. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., 111(21), 7576--7581. https://doi.org/10.1073/pnas.1405135111

Freeman R.E. (1984). Strategic management: A stakeholder approach. Pitman.

Gudynas E. (2015). Extractivismos: Ecología, economía y política de un modo de entender el desarrollo y la naturaleza. CEDIB; CLAES.

Las Bambas. (s. f.). Hitos históricos. Recuperado el 28 de junio de 2026, de https://www.las-bambas.com/seccion-acerca-de-las-bambas-historia

Maiza-Larrarte A. & G. Claudio-Quiroga (2025). The impact of Las Bambas megamine on development in Apurímac, Peru. Miner. Econ., 38(3), 569--583. https://doi.org/10.1007/s13563-025-00506-w

Ministerio de Energía y Minas. (2023). Anuario minero 2023. https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/5675896-anuario-minero-2023

Mitchell R.K., B.R. Agle & D.J. Wood (1997). Toward a theory of stakeholder identification and salience: Defining the principle of who and what really counts. Acad. Manage. Rev., 22(4), 853--886. https://doi.org/10.2307/259247

MMG Limited. (2023). Las Bambas sustainability report 2023. https://www.mmg.com/operations/las-bambas/

Moffat K. & A. Zhang (2014). The paths to social licence to operate: An integrative model explaining community acceptance of mining. Resour. Policy, 39, 61--70. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.11.003

Ormaechea I. (2015). Conflictos sociales y recursos naturales en el Perú. Centro de Análisis y Resolución de Conflictos, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Prno J. & D.S. Slocombe (2012). Exploring the origins of social license to operate in the mining sector: Perspectives from governance and sustainability theories. Resour. Policy, 37(3), 346--357. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2012.04.002

Rodríguez-Garavito C. (2014). Extractivismo versus derechos humanos: Crónicas desde los campos mineros, petroleros y palmeros. Dejusticia.

Ruggie J. (2011). Principios rectores sobre las empresas y los derechos humanos: Puesta en práctica del marco de las Naciones Unidas para "proteger, respetar y remediar". Naciones Unidas. https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Publications/GuidingPrinciplesBusinessHR_SP.pdf

Saenz C. (2019). Earning a social license to operate in mining: A case study from Peru. Resour. Policy, 64, 101482. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101482

Scott W.R. (1995). Institutions and organizations. SAGE.

Shift & Mazars. (2015). UN Guiding Principles Reporting Framework. https://www.ungpreporting.org/framework-guidance/

Suchman M.C. (1995). Managing legitimacy: Strategic and institutional approaches. Acad. Manage. Rev., 20(3), 571--610. https://doi.org/10.2307/258788

Svampa M. (2019). Las fronteras del neoextractivismo en América Latina. CALAS.

Thomson I. & R.G. Boutilier (2011). Social license to operate. En P. Darling (Ed.), SME mining engineering handbook (pp. 1779--1796). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.

Walter M. & L. Urkidi (2017). Community mining consultations in Latin America (2002--2012): The contested emergence of a hybrid institution for participation. Geoforum, 84, 265--279.https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2015.09.007

La ética en la archivística a nivel nacional e internacional: documentos normativos

Bib. Anatolia Elva Vidal Taco
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: anatoliaelva@hotmail.com

Recibido: 04 Septiembre 2026 Aceptado:15 Noviembre 2026

Resumen: En un mundo cada vez más interconectado, donde la producción de datos y el acceso a la información han crecido considerablemente, los documentos de archivo desempeñan un papel fundamental en la transparencia y en la reconstrucción de los hechos históricos. En este contexto, las cuestiones éticas vinculadas con la información personal contenida en dichos documentos se han convertido en un tema central de la archivística. La importancia de la ética profesional se manifiesta tanto en la práctica archivística, mediante la elaboración de diversos códigos deontológicos, como en la formación de los profesionales del sector. Asimismo, los principios democráticos que sustentan la desclasificación documental, el reconocimiento de los archivos como instrumentos para garantizar el derecho a la verdad y la existencia de leyes de acceso a la información pública en numerosos países refuerzan la responsabilidad de las instituciones archivísticas. Por ello, el acceso y la descripción de los documentos no constituyen únicamente procedimientos técnicos, sino que también implican decisiones éticas. Estas deben procurar un equilibrio entre el derecho de la ciudadanía a acceder a la información y la necesidad de proteger la seguridad de los Estados, así como la privacidad de las personas cuyos datos sensibles se encuentran registrados en los archivos.

La investigación que presentamos "La ética en la archivística a nivel nacional e internacional: documentos normativos" tiene como objetivo dar a conocer en forma global los códigos de la ética archivística tanto nacional como internacional por la importancia que tiene para el desarrollo archivístico en general y la importancia de la formación del archivero ya que de él depende todos los procesos archivísticos y son los guardianes del patrimonio documental a través de los siguientes puntos: Conceptos de ética. Código de ética para los profesionales de la archivística. Código de ética archivística de la SAA, CIA/ICA, ALA. Cuadro comparativo de códigos de ética archivística internacional. Normatividad archivística sobre ética peruana.

Palabras claves: Ética / Código ética archivística/ Código ética SAA / Código ética CIA / Código ética ALA / Código ética AGN.

Abstract: In an increasingly interconnected world, where data production and access to information have grown significantly, archival records play a fundamental role in ensuring transparency and reconstructing historical events. In this context, ethical issues related to personal information contained within such records have become a central theme in the field of archival science. The importance of professional ethics is evident both in archival practice, through the development of various codes of conduct, and in the training of professionals in the sector. Furthermore, the democratic principles that underpin the declassification of records, the recognition of archives as instruments for guaranteeing the right to the truth, and the existence of laws governing access to public information in many countries all reinforce the responsibilities of archival institutions. Consequently, the processes of accessing and describing records are not merely technical procedures; they also entail ethical decisions. These decisions must strike a

balance between the public's right to access information and the need to protect state security, as well as the privacy of individuals whose sensitive data may be recorded in archival holdings.

The research presented here, titled "Ethics in Archival Science at the National and International Levels: Normative Documents," aims to provide a comprehensive overview of national and international codes of archival ethics. This is significant for the general development of the archival field and for the training of archivists, who are responsible for all archival processes and serve as guardians of documentary heritage, by addressing the following topics: concepts of ethics; codes of ethics for archival professionals; the codes of ethics from the SAA, ICA, and ALA; a comparative analysis of international codes of archival ethics; and Peruvian regulations concerning ethics in the archival sector.

Keywords: Ethics / Archival code of ethics / SAA code of ethics / ICA code of ethics / ALA code of ethics / AGN code of ethics.

Résumé : Dans un monde de plus en plus interconnecté, où la production de données et l'accès à l'information ont considérablement augmenté, les documents d'archives jouent un rôle fondamental dans la transparence et la reconstitution des faits historiques. Dans ce contexte, les questions éthiques liées aux informations personnelles contenues dans ces documents sont devenues un enjeu central de l'archivistique. L'importance de l'éthique professionnelle se manifeste tant dans la pratique archivistique, à travers l'élaboration de divers codes de déontologie, que dans la formation des professionnels du secteur. Par ailleurs, les principes démocratiques qui sous-tendent la déclassification des documents, la reconnaissance des archives comme instruments garantissant le droit à la vérité, ainsi que l'existence de lois sur l'accès à l'information publique dans de nombreux pays, renforcent la responsabilité des institutions archivistiques. Ainsi, l'accès aux documents et leur description ne relèvent pas seulement de procédures techniques ; ils impliquent également des choix éthiques. Ces derniers doivent viser un équilibre entre le droit des citoyens à accéder à l'information et la nécessité de préserver la sécurité des États, tout en protégeant la vie privée des personnes dont les données sensibles figurent dans les archives.

L'étude que nous présentons, intitulée « L'éthique en archivistique aux niveaux national et international : documents normatifs », a pour objectif de proposer une vue d'ensemble des codes d'éthique archivistique, tant nationaux qu'internationaux. Elle souligne leur importance pour le développement de l'archivistique en général, ainsi que pour la formation des archivistes, acteurs dont dépendent tous les processus archivistiques et qui agissent en tant que gardiens du patrimoine documentaire. L'analyse aborde les points suivants : concepts d'éthique ; codes d'éthique pour les professionnels de l'archivistique ; codes d'éthique de la SAA, du CIA/ICA et de l'ALA ; tableau comparatif des codes d'éthique archivistique internationaux ; et cadre normatif péruvien en matière d'éthique archivistique.

Mots-clés : Éthique / Code d'éthique archivistique / Code d'éthique SAA / Code d'éthique CIA / Code d'éthique ALA / Code d'éthique AGN.

1.- Introducción

En un mundo cada vez más interconectado, donde la producción de datos y el acceso a la información han crecido considerablemente, los documentos de archivo desempeñan un papel fundamental en la transparencia y en la reconstrucción de los hechos históricos. En este contexto, las cuestiones éticas vinculadas con la información personal contenida en dichos documentos se han convertido en un tema central de la archivística. La importancia de la ética profesional se manifiesta tanto en la práctica archivística, mediante la elaboración de diversos códigos deontológicos, como en la formación de los profesionales del sector. Asimismo, los principios democráticos que sustentan la desclasificación documental, el reconocimiento de los archivos como instrumentos para garantizar el derecho a la verdad y la existencia de leyes de acceso a la información pública en numerosos países refuerzan la responsabilidad de las instituciones archivísticas. Por ello, el acceso y la descripción de los documentos no constituyen únicamente procedimientos técnicos, sino que también implican decisiones éticas. Estas deben procurar un equilibrio entre el derecho de la ciudadanía a acceder a la información y la necesidad de proteger la seguridad de los Estados, así como la privacidad de las personas cuyos datos sensibles se encuentran registrados en los archivos.

El acceso equitativo a los documentos es fundamental para garantizar que todos los usuarios, independientemente de su estatus o condición, puedan beneficiarse de la información disponible. Un sistema de gestión de archivos que prioriza la imparcialidad fomenta la confianza y la transparencia en la administración pública y privada.

El respeto y cumplimiento de los principios éticos en archivística no solo aseguran la integridad de los documentos, sino que también fortalecen la confianza pública en las instituciones. Esto es esencial para preservar la memoria histórica y garantizar el acceso legítimo a la información, lo que a su vez fomenta una cultura de transparencia y responsabilidad.

En esta investigación exponemos los códigos de ética archivística internacional de la: Society of American Archivistis (SAA), Consejo Internacional de Archivos (CIA/ICA), Asociación Latinoamericana de Archivos (ALA) para que los archiveros tengan en conjunto una visión global de la importancia de éstos ya que son los pilares que rigen la ética archivística. En estos tres códigos de ética se da mucha importancia a la gestión documental y sobre todo al archivero como responsable del patrimonio documental.

La lectura de estos códigos juntos nos parece importante, porque ofrecen orientación a los archiveros y abordan y fomentan la concientización sobre las cuestiones éticas entre los archiveros, sus colegas y el resto de la sociedad. Como defensores de las colecciones a su cargo, los archiveros aspiran a desempeñar sus actividades con el más alto nivel de conducta profesional. Los comportamientos y características descritos en los Códigos de ética para archiveros sirven como principios que ellos deben tener en cuenta en su esfuerzo por crear organizaciones archivísticas de confianza.

La investigación que presentamos “La ética en la archivística a nivel nacional e internacional: documentos normativos” tiene como objetivo dar a conocer en forma global los códigos de la ética archivística tanto nacional como internacinal por la importancia que tiene para el desarrollo archivístico en general y la importancia de la formación del archivero ya que de él depende todos los procesos archivísticos y son los guardianes del patrimonio documental a través de los siguientes puntos: Conceptos de ética. Código de ética para los profesionales de la archivística.

Código de ética archivística de la SAA, CIA/ICA, ALA. Cuadro comparativo de códigos de ética archivística internacional. Normatividad archivística sobre ética peruana.

2.- La ética

¿Qué entendemos por ética? La RAE define la ética principalmente como el conjunto de normas morales que rigen la conducta de la persona y como la rama de la filosofía que estudia el bien, el fundamento de los valores y los actos humanos. (RAE, 2014)

Origen etimológico de ética. La palabra ética viene del griego ēthikós (ἠθικός) que significa "relativo al carácter de uno" y tiene su raíz en la palabra êthos (ἦθος). Êthos tiene distintas traducciones, entre las que encontramos "carácter" y también "costumbre". De esto se desprende la idea de que la ética es el estudio del carácter y las costumbres. (https://concepto.de/etica/)

Toda profesión debe encausarse dentro de normas éticas, sin las cuales las habilidades y el adiestramiento técnico sólo conseguirían devastadores resultados en el campo de las relaciones humanas. Las normas de moralidad no derivan de simples convenciones de buena educación o de usos tradicionales, sino que toman su vigencia de leyes no escritas, grabadas por el Creador en la naturaleza del hombre. (Nieto, 1984).

Ética profesional vendría ser el conjunto de reglas y principios específicos que regulan el comportamiento de las personas en el ejercicio de una profesión.

La conducta ética no es privativa de las profesiones que se relacionan primariamente con la salud o la justicia. También es requerida como en profesiones como la del archivero, que aparentemente precisan solo de buenos conocimientos especializados y de técnicas metodológicas e instrumentales. El archivero entra con frecuencia en contacto con documentos y testimonios que tienen la buena fama, la intimidad o los intereses más sagrados de las personas. A él, por tanto, le están prescritas aquellas normas de la cautela o del sigilo profesional que un abogado o un sacerdote están obligados a mantener. El archivero sabrá actuar siempre con prudencia, con exquisito respeto por los intereses que custodia. La información que él ha llegado a adquirir en el ejercicio profesional no es raro que provenga de papeles que llevan el rótulo de "confidencial" o "reservado". Pero, incluso si no llevan esa clasificación, el discernimiento del archivero debe ver en cada caso cuál es el uso que él puede hacer de tal documentación, porque se siguen daños incalculables de la indiscreción o del descuido en esta materia. Las exigencias deontológicas alcanzan no sólo a las cualidades morales que debe poseer el archivero, sino también al celo u a la diligencia por mantener en buen estado los archivos. El extravío o la mala clasificación de un documento no son solo errores de técnica; pueden originar irreparables perjuicios a la geografía e historia de una nación. (Nieto, 1986)

2.1.- Código de ética profesional

Todo profesional debe mantener un comportamiento correcto, humano respetuosos y cumplir con los estándares de conducta moral. Tener un código ético ayuda a definir qué comportamientos son los más adecuados, y pueden aplicarse tanto en las empresas, las instituciones estatales como en profesiones independientes.

Qué es un código de ética profesional

Se conoce como código de ética y cumplimiento profesional al conjunto de parámetros y principios funcionales relacionados a la conducta profesional que se encuentran respaldados por un marco teórico y ético. Cada código puede ser distinto dependiendo las bases que componen el sistema organizacional, académico y empresarial, pero, en función siempre existirán unos principios básicos o generales que deberán cumplir todos los empleados. (Scribb).

2.2.- Lineamientos generales de los códigos

Cada actividad profesional u oficio exige por parte de quienes los despliegan cumplir con una ser e de deberes y de obligaciones, específicamente en aquellos casos donde la vida de otros está en juego o bien su estabilidad emocional.

Normas deontológicas

El secreto profesional. Es la obligación legal que tienen ciertas profesiones de mantener en secreto la información que han recibido de sus clientes. Al contrario de lo que ocurre con tipos de deberes de confidencialidad, el secreto profesional se mantiene incluso en un juicio.

Deber de informar. Proteger la intimidad de las personas prescribiendo como ilícitos todas aquellas conductas que conozcan indebidamente y divulguen secretos o confidencias relativos al ámbito de la privacidad personal y ordenamiento jurídicos normas protectoras de la intimidad.

Respeto por los derechos y por la dignidad de todas las personas: Es necesario que cada persona y sobre todo un profesional, independientemente de su área de trabajo y de su campo de acción, muestre respeto por la diversidad, las diferencias individuales y culturales, así como por los derechos humanos y su cumplimiento en el espectro social.

- **Compromiso profesional y teórico:** El profesional deberá ser consciente de su posición dentro del desarrollo de sus deberes y de los conocimientos adquiridos a lo largo de su carrera, con el fin de aplicarlos correctamente en cada uno de los aspectos de su vida. De este principio parte la necesidad de entender que de tus saberes dependerán clientes, usuarios, pacientes, empresas e inclusive, tu propio emprendimiento.
- **Integridad:** dentro de las características éticas más importantes en el ámbito laboral encontramos este punto, ya que en él confluye los principios de honestidad, justicia, respeto y probidad; principios básicos en las interacciones humanas y sociales. Recuerda que un actuar integral garantiza el correcto ejercicio de un deber.
- **Responsabilidad social:** toda empresa, organización o entidad deberá tener en sus bases la necesidad de coadyuvar a otros por medio de la prestación de sus servicios, con las formas en las que realiza sus producciones y con los efectos que estos generan en la sociedad; lo anterior solo puede ser posible si sus empleados tienen un amplio sentido de responsabilidad social, lo cual coadyuva al bienestar y desarrollo de su propia comunidad. (Scribb).

3.- Código de ética para los profesionales de la archivística

"En el Xlll Congreso Internacional de Archivos, celebrado en Pekín, China, en 1996, se propuso un código ético para los profesionales de la archivística, considerados como los responsables del control, cuidado, custodia, conservación y administración de los archivos.

Este código de ética sugiere lineamientos y pautas de conducta laboral para lograr la excelencia y la confianza pública en el quehacer de los archivistas.

Un código de ética para archivistas debe establecer normas de conducta para la profesión archivística. Debe enseñar a los nuevos miembros del oficio esas normas al tiempo que le recuerde al archivista profesional sus responsabilidades, para así inspirar la confianza del público hacia esta profesión.

El término "archivista" que usamos en este código pretende incluir a todos aquellos involucrados con el control, cuidado, custodia, preservación y administración de archivos.

Se debe promover y alentar a las instituciones, y en general a todos aquellos que brinden servicios archivísticos, a adoptar políticas y prácticas que faciliten la utilización de este código.

El código de ética del Consejo Internacional de Archivos, pretende proporcionar un marco ético que sirva de guía a los miembros de este gremio, y no brindar soluciones específicas a problemas particulares.

Los principios van acompañados de un comentario; principios y comentarios en conjunto conforman este Código de Ética.

La implementación de este código depende de la buena voluntad de las instituciones y asociaciones archivísticas. Sugerimos que se realice un esfuerzo formativo y que se establezcan los mecanismos necesarios que sirvan de guía, en caso de duda, para investigar conductas no éticas y, de considerarse necesario, para aplicar sanciones". (Exposición. PDF).

Códigos de ética archivística internacionales: A continuación, transcribo los códigos éticos archivísticos de los entes rectores de la archivista: SAA, CIA/ICA, ALA, AGN.

3.1.- "Declaración de valores fundamentales y código de ética de SAA (Society of American Archivistis

Descripción general

"Los *Valores Fundamentales de los Archivistas* y el *Código de Ética para Archivistas* están concebidos para utilizarse conjuntamente como guía para quienes realizan labores de archivo o trabajan en entornos archivísticos. Estos valores y principios éticos contribuyen a definir las expectativas de la SAA respecto a las acciones y la participación profesional. En ocasiones, pueden entrar en conflicto sin que exista una indicación clara de cuál prevalece. Sin embargo, en general, las actividades archivísticas deben adherirse al espíritu de estos valores y principios.

En resumen, los archiveros deben esforzarse por:

- Ampliar las oportunidades de acceso y uso de los documentos de archivo para los usuarios, y potenciales usuarios.

- Contribuir activamente con ideas y recursos al conjunto de conocimientos teóricos y prácticos de nuestro campo.
- Fomentar oportunidades de colaboración no solo con creadores, usuarios y colegas, sino con cualquier parte interesada que desee interactuar con los registros de archivo.
- Desarrollar y seguir estándares profesionales que promuevan la transparencia, la rendición de cuentas en materia de archivos y mitiguen los daños.
- Respetar la diversidad que existe en la humanidad y abogar por que las colecciones de archivos reflejen esa rica complejidad.
- Reconocer la importancia de la formación y el desarrollo profesional fomentando el aprendizaje permanente, tanto para uno mismo como para los demás.
- Dar prioridad a las prácticas ambientalmente sostenibles para la conservación de las colecciones y el servicio a las comunidades.
- Crear oportunidades de mentoría para estudiantes de biblioteconomía, nuevos profesionales y cualquier persona del ámbito de los archivos que desee enriquecer su experiencia laboral.
- Compartir activamente sus conocimientos y experiencia con creadores, usuarios, colegas y las comunidades que los archivos buscan documentar.

Reconocemos que los archivistas y las prácticas archivísticas nunca son neutrales. Asimismo, reconocemos que las prácticas archivísticas representan dinámicas de poder significativas que pueden reforzar o desafiar paradigmas dominantes y silencios históricos. El objetivo de este documento es impulsar a la profesión hacia una comunidad de práctica archivística más inclusiva, ética y responsable.

Valores fundamentales de los archiveros

Los archiveros realizan un trabajo vital, que incluye:

- Identificar y preservar los registros esenciales que documentan el patrimonio cultural de la sociedad.
- Organizar y mantener el registro documental de instituciones, grupos, comunidades e individuos.
- Promover el descubrimiento y el acceso a fuentes primarias por parte de un amplio abanico de personas que buscan localizar y utilizar la información que se encuentra en los registros probatorios, incluso para interpretar acontecimientos pasados.

La profesión archivística moderna se esfuerza por fundamentar sus bases teóricas y funciones en un conjunto de valores esenciales que guían todas las prácticas y actividades de los archivistas, tanto individual como colectivamente. Estos valores esenciales representan la esencia de nuestra profesión y deben orientar las acciones profesionales de los miembros de la SAA. Los archivistas deben utilizar estas directrices para brindar un servicio equitativo a todos los miembros de la sociedad.

En consecuencia, esta declaración de valores fundamentales del archivística articula un conjunto de principios que sirven tanto de recordatorio de cómo los archivistas deben esforzarse por desempeñar su labor profesional como de marco para contextualizar su rol en un sentido social más amplio. Los archivistas suelen verse sometidos a demandas e imperativos contrapuestos que pueden generar conflictos. Estos valores fundamentales pueden guiar a los archivistas en la toma de decisiones profesionales, sirviendo como un prisma a través del cual pueden examinar las complejas cuestiones éticas que puedan surgir durante su trabajo.

Acceso y uso: El acceso a los documentos es esencial en todos los ámbitos: personal, comunitario, académico, empresarial y gubernamental. Los archiveros deben promover y facilitar el acceso más amplio posible a los materiales, respetando las restricciones legales y éticas, incluidas las leyes, la protección del patrimonio cultural, los contratos con donantes y las consideraciones y expectativas de privacidad. Si bien el acceso puede estar justificadamente limitado en algunos casos, los archiveros procuran fomentar el acceso abierto y el uso sin restricciones en la medida de lo posible, siempre que sea apropiado.

El propósito del uso debe considerarse en cada fase de adquisición, descripción y acceso. Incluso quienes no utilizan directamente los materiales de archivo se benefician indirectamente de la investigación, los programas públicos y otras formas de trabajo archivístico, incluyendo una mayor conciencia de que los documentos existen, se conservan y se puede acceder a ellos cuando sea necesario. Por consiguiente, los archivistas deben promover y apoyar activamente el uso de los documentos.

Rendición de cuentas: Los archiveros ayudan a mantener la evidencia documental de las acciones de individuos, grupos y organizaciones. Al preservar los registros de las experiencias, funciones, actividades y toma de decisiones de la sociedad, los archiveros proporcionan recursos importantes para las entidades actuales y futuras que buscan rendición de cuentas.

Ya sea en el ámbito público, el sector privado, la academia u otros entornos institucionales, los líderes deben rendir cuentas ante la historia y las generaciones futuras. Esto incluye la rendición de cuentas pública en la gobernanza y el funcionamiento de la sociedad, así como la protección de los derechos e intereses de las personas y las comunidades. Preservar los registros probatorios, tanto de entidades públicas como privadas, crea un mecanismo para fomentar la transparencia dentro de las organizaciones y puede ayudar a visibilizar los desequilibrios de poder.

Los archiveros son responsables ante las partes interesadas internas y externas en el ejercicio de sus responsabilidades y criterio profesional. Deben ser transparentes al documentar sus intervenciones en el registro histórico, ya que estas pueden afectar la comprensión y el uso de las colecciones bajo su custodia. El objetivo es generar confianza entre los usuarios, los archiveros, los depósitos y las comunidades documentadas en las colecciones de archivo.

Defensa de los derechos: Los archiveros promueven el uso y la comprensión del registro histórico, al tiempo que defienden sus propios programas de archivo y las necesidades de su organización. La defensa de los archiveros y del trabajo archivístico puede adoptar diversas formas, entre las que se incluyen, entre otras, la contribución a la formulación de políticas públicas relacionadas con los archivos y la gestión documental, la garantía de que la experiencia de los archiveros se utilice en beneficio del interés público y la difusión de la utilidad y el valor del trabajo archivístico a nivel local e internacional. Es fundamental fomentar el apoyo y la comprensión de todas las formas de trabajo archivístico para asegurar los recursos necesarios para

continuar nuestra labor y garantizar el acceso permanente a los materiales que se conservan en los archivos.

Diversidad: Los archiveros, en su conjunto, deben procurar documentar y preservar el registro de la mayor diversidad posible de individuos, comunidades, formas de gobierno y organizaciones. Los archiveros trabajan con respeto para crear y promover colecciones de archivo que documenten una multiplicidad de puntos de vista sobre cuestiones sociales, políticas e intelectuales.

Dentro de nuestras organizaciones: En consonancia con las misiones institucionales, los archivistas deben reconocer la importancia de identificar, preservar y colaborar con las comunidades para documentar activamente las voces de aquellos cuyas historias han sido subrepresentadas o marginadas. Es fundamental establecer vínculos con las comunidades e individuos poco documentados, apoyar la preservación de los registros relacionados con las actividades de dichas comunidades, fomentar el uso de fuentes de investigación de archivo y respaldar la creación de archivos comunitarios. La creación de colecciones que reflejen la diversidad de la humanidad es clave para preservar un registro histórico que abarque las historias de todos los pueblos, y no solo las de aquellos que ostentan el poder y la influencia suficientes para garantizar que sus vidas queden documentadas.

En nuestro campo en general: los programas de formación archivística, las organizaciones profesionales y las instituciones que contratan personal deben esforzarse por desarrollar prácticas y políticas que prioricen la captación, la retención y el apoyo continuo de comunidades de práctica inclusivas. No basta con recopilar la historia de diversos pueblos; la profesión archivística debe trabajar constantemente para crear entornos que no opriman la participación y que fomenten la participación de personas con todo tipo de experiencias.

Historia y memoria: Los materiales de archivo constituyen sustitutos digitales y físicos de la memoria humana, tanto individual como colectiva, y sirven como evidencia para comparar la memoria individual y la social. Si bien el registro histórico no puede definirse por un solo documento, colección o recuerdo, los archivistas reconocen que las fuentes primarias permiten examinar eventos pasados y comprender mejor las experiencias humanas.

Preservación: Los archiveros custodian fuentes primarias en una multitud de formatos, esforzándose por identificar estrategias de preservación sostenibles para que los materiales sean accesibles y puedan utilizarse en el futuro. La preservación de materiales es un medio para lograr este fin, no un fin en sí misma. Dentro del marco legal y las mejores prácticas, los archiveros deben determinar la mejor manera de preservar los materiales originales mediante una combinación de actividades que incluyen el monitoreo de su estado, la creación de copias físicas y digitales, y el control ambiental en las áreas donde se procesan, utilizan y almacenan los materiales.

Administración responsable: Como administradores responsables, los archiveros se comprometen a tomar decisiones éticas y transparentes sobre la gestión de las colecciones y los materiales que se les confían. Deben desarrollar modelos de administración que tengan en cuenta las necesidades internas y externas, creando buenas prácticas que no solo reflejen su experiencia archivística, sino que también puedan adaptarse a las necesidades y sugerencias de las partes interesadas.

La gestión responsable también implica considerar la capacidad real de conservación del archivo y el costo total de su administración al decidir adquirir o dar de baja materiales. Para mantener relaciones de confianza con los creadores y apoyar la misión institucional de un archivo, la distribución ética de los recursos disponibles debe formar parte de cada conversación estratégica a lo largo del ciclo de vida de todos los materiales del fondo.

Selección: Los archiveros toman decisiones sobre qué materiales conservar basándose en una amplia gama de criterios. Asumen la responsabilidad de participar activamente en la configuración e interpretación de la documentación del pasado. El costo de la conservación a largo plazo y los constantes desafíos de acceso impiden que la mayoría de los documentos creados en la sociedad moderna se conserven a perpetuidad. La misión continua de adquisición, junto con el costo total de la conservación y la realidad de los recursos finitos, exige que los archivos sean prudentes en sus decisiones de evaluación y selección. Conscientes de ello, los archiveros reconocen la importancia de consultar con otras partes interesadas durante todos los procesos que culminan en la selección de materiales para el fondo del archivo. Asimismo, reconocen que el poder ejercido para seleccionar materiales no disminuye ni usurpa la autoridad de los creadores o fuentes de dichos materiales.

Servicio: Los archiveros prestan servicios a numerosos grupos de interés. Dentro de los mandatos y misiones de sus organizaciones, facilitan el acceso a las fuentes primarias para que cualquier usuario pueda descubrir y beneficiarse del patrimonio documental de la sociedad, sus instituciones y sus individuos.

Responsabilidad social: La actividad profesional de todos los archiveros se sustenta en sus responsabilidades con la sociedad y el bien común. En sus diversas funciones y deberes, los archiveros contribuyen a preservar la memoria individual y comunitaria de sus respectivos grupos de interés y, al hacerlo, ayudan a aumentar la conciencia y la comprensión social general de los acontecimientos del pasado. El archivo forma parte del patrimonio cultural de todos los miembros de la sociedad. Por ello, los archiveros se esfuerzan por cumplir con sus responsabilidades sociales mediante políticas y procedimientos equitativos y claramente definidos para la selección, preservación, acceso y uso del archivo. Como custodios del registro histórico, los archiveros deben ser conscientes de cómo su trabajo profesional puede funcionar tanto como una fuerza perjudicial como un recurso reparador.

Sostenibilidad: Los archiveros deben fundamentar su trabajo en una ética del cuidado que priorice las prácticas y políticas ambientalmente sostenibles. El cuidado de las colecciones y el servicio a las comunidades, junto con el desarrollo de modelos de adquisición, procesamiento, almacenamiento y servicio, deben equilibrarse con una conciencia constante del impacto del trabajo archivístico en el medio ambiente.

(Aprobado por el Consejo de la SAA en mayo de 2011; revisado en agosto de 2020 y agosto de 2025).

* * *

Código de ética para archiveros

Los archivos son creados por una amplia gama de individuos y grupos, y proporcionan y protegen evidencias de la actividad humana y la organización social. Los archiveros se esfuerzan por garantizar que los materiales a su cargo sean accesibles a lo largo del tiempo. Deben adoptar principios que fomenten la transparencia de sus acciones e inspiren confianza en la profesión. Un conjunto específico de normas éticas ayuda a los archiveros a afrontar situaciones y problemas complejos que puedan surgir durante el desempeño de su trabajo.

La Sociedad de Archivistas Americanos es una organización de miembros compuesta por personas y organizaciones dedicadas a la selección, el cuidado, la preservación, el acceso y la administración de documentos de valor perdurable para el beneficio de las generaciones presentes y futuras.

La Sociedad respalda este *Código de Ética para Archivistas* como principios fundamentales de la profesión. Este Código debe leerse junto con *los Valores Fundamentales de los Archivistas de* la SAA. Juntos, ofrecen orientación a los archivistas y abordan y fomentan la concienciación sobre las cuestiones éticas entre los archivistas, sus colegas y el resto de la sociedad. Como defensores de las colecciones a su cargo, los archivistas aspiran a desempeñar sus actividades profesionales con el más alto nivel de conducta profesional. Los comportamientos y características descritos en este *Código de Ética para Archivistas* deben servir como principios que los archivistas deben tener en cuenta en su esfuerzo por crear organizaciones archivísticas de confianza.

El Comité de Ética y Conducta Profesional (CEPC) de la SAA ha publicado *estudios de caso* y artículos de blog basados en experiencias reales que abordan una o más de las áreas cubiertas por el *Código de Ética para Archiveros* .

Relaciones profesionales: Los archiveros se esfuerzan por cooperar y colaborar con otros archiveros de la profesión, así como con todas las personas, comunidades y organizaciones que realizan labores de archivo. En sus relaciones profesionales con donantes, creadores de documentos, usuarios, comunidades y colegas, los archiveros deben ser lo más respetuosos, honestos, transparentes, empáticos y equitativos posible.

Juicio: Si bien ningún aspecto del trabajo de archivo es imparcial o neutral, los archivistas ejercen su juicio profesional en la evaluación, adquisición, procesamiento, descripción y acceso a los materiales. Las decisiones deben tomarse siempre con criterio, buscando garantizar la preservación, autenticidad, diversidad y el valor cultural e histórico perdurable de los materiales. Los archivistas deben ser transparentes sobre su función en la selección, retención y creación del registro histórico, documentando cuidadosamente todas las decisiones políticas relacionadas con las colecciones, incluidos los tratamientos de preservación, el trabajo descriptivo, las actividades de procesamiento y las pautas de acceso. Se alienta a los archivistas a consultar con colegas, profesionales relevantes, creadores y comunidades interesadas para asegurar que diversas perspectivas influyan en sus acciones y decisiones a lo largo del proceso de gestión.

Autenticidad: Los archiveros utilizan la tasación y la documentación de procedencia para proporcionar información transparente sobre la autenticidad y el origen de los materiales de archivo. Mediante la descripción archivística, documentan las características únicas de los registros, incluyendo su integridad intelectual, digital y física. Los archiveros no deben alterar, manipular ni destruir datos o registros intencionadamente para ocultar hechos o distorsionar pruebas. Do-

cumentan minuciosamente cualquier acción que realicen que pueda provocar cambios en los registros a su cargo o generar dudas sobre su autenticidad.

Seguridad y protección: Los archiveros y las instituciones archivísticas protegen todos los materiales bajo su responsabilidad. Salvaguardan todos los documentos contra daños accidentales, vandalismo y robo. Adoptan medidas para minimizar el deterioro de los documentos e implementan políticas de seguridad para protegerlos en todos los formatos. Los archiveros cuentan con planes bien elaborados para responder a situaciones que puedan poner en peligro la seguridad de sus fondos, sus usuarios y su personal.

Acceso y uso: Los archiveros promueven activamente el acceso abierto y equitativo a los documentos bajo su custodia, en la medida de lo posible. Se esfuerzan por minimizar las restricciones y facilitar al máximo el acceso. Facilitan la disponibilidad continua de los materiales de archivo en todos los formatos. Los archiveros formulan y difunden políticas de acceso que fomentan un uso ético y responsable. Colaboran con creadores, donantes, organizaciones y comunidades para garantizar que las restricciones aplicadas sean apropiadas, estén bien documentadas y se apliquen de manera equitativa. Cuando los depósitos requieren restricciones para proteger información confidencial y de propiedad exclusiva, estas deben aplicarse de forma coherente. Los archiveros deben procurar equilibrar los principios de custodia, acceso y respeto.

Privacidad: Los archiveros establecen procedimientos y políticas para proteger la privacidad de los donantes, individuos, grupos y organizaciones cuyas vidas y actividades, tanto públicas como privadas, se documentan en los fondos de archivo. Cuando corresponda o lo exija la ley, los archiveros imponen restricciones de acceso a las colecciones para garantizar la privacidad y la confidencialidad, especialmente para aquellos individuos y grupos que no hayan participado en la creación, conservación o uso público de las colecciones. Los archiveros deben actuar con transparencia al implementar las restricciones de acceso, presumiblemente con apertura, y documentar el motivo y la duración de dichas restricciones. Los archiveros respetan el derecho a la privacidad de todos los usuarios, manteniendo la confidencialidad de sus investigaciones y protegiendo la información personal recopilada sobre ellos de acuerdo con las políticas de sus instituciones.

Competencia cultural: Los archivistas reconocen que nuestras colecciones pueden contener material culturalmente sensible. Los archivistas y los depósitos de archivos tienen la obligación de establecer y mantener relaciones con las comunidades de origen y buscar su orientación sobre cómo gestionar, facilitar el acceso o devolver el material culturalmente sensible bajo nuestra custodia. Los archivistas reconocen que facilitar el acceso a información o conocimientos especializados puede causar un daño irreparable y que el material designado por las comunidades como culturalmente sensible no debe difundirse ni reproducirse (es decir, digitalizarse, fotografiarse, copiarse) sin el permiso expreso de las comunidades de origen. Para obtener recursos relacionados con la gestión de materiales culturalmente sensibles, consulte « *Protocolos para materiales de archivo de nativos americanos: información y recursos* ».

Confianza: Los archiveros no deben abusar de su acceso privilegiado ni de su control sobre los registros y las colecciones. Ejercen su labor conscientes de que deben garantizar la debida custodia de los materiales que se les confían. Deben demostrar integridad profesional y evitar posibles conflictos de intereses. Buscan equilibrar los derechos, intereses, necesidades y sugerencias de todas las personas y grupos afectados por las decisiones archivísticas. En definitiva, deben prestar un servicio imparcial a todos los usuarios". (SAA, 2025)

(Aprobado por el Consejo de la SAA en febrero de 2005; revisado en enero de 2012, agosto de 2020 y agosto de 2025)

3.2.-Consejo Internacional de Archivos (CIA/ICA)

Código de ética profesional

Preámbulo

"01. Un código de ética para archiveros debe establecer unas elevadas normas de conducta para la profesión archivística. Ha de servir a la vez para dar a conocer esas normas a los nuevos miembros de la profesión, para recordarles sus deberes a los archiveros experimentados y para lograr la confianza pública en la profesión.

02. El término "archivero", tal como se utiliza en este código, abarca a todos aquellos que tienen que ver con el control, cuidado custodia, conservación y administración de los documentos.

03. Los archivos y las instituciones de las que éstos dependen deben ser alentados adoptar políticas y prácticas que faciliten la aplicación de este código.

04. Este código pretende proporcionar un marco ético que sirva de guía a los miembros de la profesión, más que aportar soluciones específicas a problemas concretos.

05. Todos los principios van acompañados de un comentario; el conjunto de principios y comentarios constituye el Código de Ética.

O6. El código depende de la buena disposición de las instituciones archivísticas y de las asociaciones profesionales para ponerlo en práctica. Aquélla puede concretarse en un esfuerzo formativo y en el establecimiento de los mecanismos adecuados para procurar orientación en casos de duda, para investigar conductas poco éticas, y, de considerarse oportuno, para aplicar sanciones.

Código de ética

1..Los archiveros protegerán la integridad de los documentos, garantizando así que puedan seguir constituyendo un testimonio fiable del pasado.

> [1] El deber primordial de los archiveros es mantener la integridad de los documentos que están bajo su cuidad y custodia. En el cumplimiento de este deber ha de considerar los derechos e intereses legítimos, aunque a veces puedan estar en conflicto, de sus propios patronos, de los propietarios, de las personas mencionadas en los documentos y de los usuarios, pasados, presentes y futuros. La objetividad e imparcialidad de los archiveros es la medida de su profesionalidad. Deberán resistirse a cualquier tipo de presión para manipular los testimonios con vistas a ocultar. o distorsionar los hechos.

2.. Los archiveros valorarán, seleccionarán y mantendrán los documentos en su contexto histórico, legal y administrativo, respetando así el principio de procedencia y preservando y poniendo de manifiesto relaciones originales entre aquéllos.

> [2] Los archiveros actuaran de acuerdo con los principios y las prácticas de aceptación general. Llevarán a cabo sus cometidos y funciones de acuerdo con los principios archivísticos en lo que se refiere a la producción, conservación y determinación del destino final de los documentos activos y semiactivos, incluyendo los documentos electrónicos y *multimedia*, la selección y adquisición de documentos para su custodia por el archivo, la salvaguarda, la preservación y conservación de los documentos bajo su cuidado, y la organización, descripción, publicación y puesta en uso de esos documentos. Valorarán la documentación de forma imparcial, basando su juicio en un completo conocimiento de las exigencias administrativas y las políticas de adquisición de sus instituciones. Organizarán y describirán los documentos de conservación permanente de acuerdo con los principios archivísticos (a saber, el principio de procedencia y el principio de organización original) y con las normas aceptadas, lo más rápidamente que lo permitan sus recursos. Adquirirán los documentos de acuerdo con los objetivos y recursos de sus instituciones. No intentarán conseguir ni aceptarán nuevos ingresos cuando ello pueda comprometer la integridad o la seguridad de los documentos, sino que cooperarán para lograr que los mismos se conserven en el archivo más adecuado. Contribuirán al retorno a su país de origen de los documentos públicos incautado en tiempo de guerra u ocupación.

3. Los archiveros garantizarán que se mantenga la autenticidad de los documentos durante el proceso de su tratamiento, conservación y utilización.

> [3] Los archiveros deben garantizar que el valor archivístico de los documentos, incluyendo los documentos electrónicos o los *multimedia*, no se vea perjudicado por las operaciones archivísticas de valoración, organización y descripción, de conservación y de utilización. Todo muestreo se realizará de acuerdo con métodos y criterios cuidadosamente establecidos. La sustitución de los originales por otros formatos se efectuará teniendo en cuenta el valor legal, intrínseco e informativo de los documentos. Siempre que se retiren temporalmente de un expediente documentos que no sean accesibles a la consulta, deberá informarse de ello al usuario.

4. Los archiveros asegurarán permanentemente la accesibilidad y la inteligibilidad de los documentos.

> [4] Al seleccionar los documentos que deberán conservarse o eliminarse, los archiveros tendrán como criterio prioritario el mantener el testimonio esencial de la actividad de la persona o institución que los produjo y acumuló, a la vez que tendrán también en cuenta los cambiantes intereses de la investigación. Los archiveros serán conscientes de que la adquisición de documentos de origen dudoso, por muy interesantes que puedan ser, puede favorecer un comercio ilegal.

Cooperarán con sus colegas y con los órganos encargados de velar por el cumplimiento de la ley en la persecución y captura de las personas sospechosas del robo de documentos.

5.. Los archiveros dejarán constancia documentada para justificar sus acciones en relación con los documentos.

[5] Los archiveros deben abogar por un adecuado tratamiento de los documentos a lo largo de su ciclo vital y colaborar con los productores de los mismos en la solución de los problemas que planean los nuevos sopor tes y las nuevas prácticas de gestión de la información. Deben interesarse no sólo por recoger la documentación que ya existe, sino también cooperar para que los sistemas de información y archivo electrónicos incorporen desde el comienzo los procedimientos apropiados para preservar los documentos que tengan valor. Los archiveros, en su trato con los servicios que transfieren o con los propietarios de los documentos, deben tratar de encontrar soluciones justas, siempre que sea posible, y tras haber considerado cuidadosamente los elementos siguientes: autoridad para transferir, donar o vender, acuerdos y beneficios de tipo económico, planes de tratamiento de los documentos, derechos de autor y condiciones de acceso. Los archiveros deben mantener un registro permanente que documente los ingresos, la conservación y todo el trabajo archivístico que se realice.

6. Los archiveros promoverán el acceso más amplio posible a los archivos y proporcionarán un servicio imparcial a todos los usuarios.

[6] Los archiveros deben elaborar instrumentos de descripción, generales o específicos según resulte apropiado, de todos los documentos bajo su custodia. Deben ofrecer consejo imparcial a todo el mundo y emplear los recursos disponibles para proporcionar una gama de servicios equilibrada. Los archiveros deben mostrarse contrarios a cualquier restricción en el acceso o uso de los documentos que sea inmotivada, sin embargo, pueden sugerir o aceptar como condición para el ingreso unas restricciones claramente definidas y de una duración limitada. Deben observar fielmente y aplicar de forma imparcial cualquier acuerdo suscrito en el momento de la adquisición, pero, en interés de la liberalización del acceso a los documentos, deben renegociar las condiciones cuando las circunstancias cambian. Los archiveros deben responder cortésmente y con espíritu de servicio a todas las consultas razonables en relación con sus fondos, y fomentar al máximo la utilización de los mismos, teniendo presentes la política de sus instituciones, la preservación de los fondos, las consideraciones legales, los derechos individuales y los acuerdos con los donantes. Deben motivar las restricciones a los potenciales usuarios y aplicarlas con equidad.

7. Los archiveros respetarán tanto el acceso como la privacidad, actuando dentro de los límites impuestos por la legislación vigente.

[7] Los archiveros deben velar por la protección de la privacidad de las personas

> físicas y jurídicas, así como la seguridad nacional, todo ello sin destruir información, especialmente en el caso de los documentos electrónicos donde es práctica habitual borrar o actualizar los datos. Deben respetar el derecho a la intimidad de los individuos que produjeron o son mencionados en los documentos, particularmente en el caso de quienes no hayan sido consultados en lo referente a la utilización o el destino final de los documentos.

8.Los archiveros utilizarán la confianza depositada en ellos en interés de todos y evitarán hacer uso de su posición para beneficiarse ellos mismos, o a otros, de modo injusto.

> [8] Los archiveros deben abstenerse de toda actividad que pueda perjudicar a su integridad, objetividad e imparcialidad profesional. No deben beneficiarse económicamente o de cualquier otro modo en detrimento de sus instituciones, de los usuarios o de sus colegas. Los archiveros no deben coleccionar documentos originales en su parcela de jurisdicción ni participar en ningún comercio de documentos. Deben abstenerse de cualquier actividad que pueda dar la impresión de un conflicto de intereses a los ojos de la gente. Los archiveros pueden hacer uso de los fondos de su institución para su investigación personal o con fines de publicación, con tal de que ese trabajo lo realicen en las mismas condiciones que las impuestas al resto de los usuarios. No deben revelar o utilizar la información obtenida a partir de su trabajo con fondos de acceso restringido. Pueden criticar y comentar otros trabajos realizados en sus parcelas de investigación, incluyendo los trabajos basados en documentos que están bajo su propia custodia. No deben consentir que personas ajenas a la profesión se inmiscuyan en sus prácticas y obligaciones. No deben permitir que su investigación personal o sus publicaciones interfieran con las funciones profesionales o administrativas que tienen encomendadas. En lo que se refiere a la utilización de los fondos de sus instituciones, los archiveros no harán uso de su conocimiento de los descubrimientos realizados por un investigador, y que aun no hayan sido publicados, sin notificarle previamente su intención de utilizarlos.

9.Los archiveros tratarán de conseguir la excelencia profesional mediante la sistemática y continuada actualización de sus conocimientos archivísticos y compartiendo los resultados de su investigación y experiencia.

> [9] Los archiveros se esforzarán por desarrollar su conocimiento y experiencia profesional, para enriquecer la disciplina archivística y para asegurar que aquellos cuya formación o actividad supervisan estén en condiciones de llevar a cabo sus tareas de modo competente.

10.Los archiveros colaborarán con los miembros de su misma profesión y con los de otras profesiones para promover la conservación y uso del patrimonio documental de la humanidad.

> [10] Los archiveros deben tratar de fomentar la cooperación y evitar conflictos con sus colegas, y resolver las dificultades logrando que haya una adhesión generalizada a las normas archivísticas y a la ética profesional. Los archiveros

colaborarán con los miembros de las profesiones relacionadas sobre la base del respeto y la comprensión mutuos" (ICA, 1996)

3.3.- Código de ética de la Asociación Latinoamericana de Archivos (ALA)

Es un documento de suma importancia que establece los principios y valores que deben guiar la conducta de los profesionales de la archivística en toda América Latina. Este código representa un compromiso con la preservación del patrimonio documental, la defensa de los derechos de acceso a la información y el fortalecimiento de la profesión archivística en la región.

"Importancia de este código

- Guía para la toma de decisiones: Sirve como una herramienta fundamental para los archivistas a la hora de tomar decisiones en su trabajo diario, asegurando que sus acciones estén alineadas con los principios éticos de la profesión.
- Protección del patrimonio documental: El código enfatiza la importancia de preservar y proteger el patrimonio documental, reconociendo su valor histórico, cultural y social.
- Garantiza el acceso a la información: promueve el acceso equitativo y transparente a la información contenida en los archivos, respetando los derechos de privacidad y confidencialidad.
- Fortalece la profesión: Contribuye a elevar el prestigio y la profesionalización de la archivística en América Latina, estableciendo estándares de calidad y ética.
- Fomenta la cooperación: promueve la colaboración entre los profesionales de la archivística de diferentes países, fortaleciendo la comunidad archivística latinoamericana.

Principales aspectos del Código de ética de la ALA

- **Integridad y objetividad:** Los archivistas deben actuar con integridad y objetividad en el desempeño de sus funciones.
- **Confidencialidad**: Deben proteger la confidencialidad de la información a la que tienen acceso.
- **Imparcialidad:** deben actuar de manera imparcial y evitar cualquier conflicto de intereses.
- **Competencia:** deben mantener y mejorar sus conocimientos y habilidades profesionales.
- **Respeto por los usuarios:** Deben brindar un servicio de calidad a los usuarios, respetando sus derechos y necesidades.

Primer principio

Integridad y autenticidad de los fondos documentales.

El primer principio del Código de ética de la ALA, que enfatiza la integridad y autenticidad de los fondos documentales, es un pilar fundamental para la preservación del patrimonio documental y la confiabilidad de la información histórica.

¿Por qué es tan importante este principio?

- Valor histórico y probatorio: Los documentos del archivo son testigos del pasado y sirven como evidencia para la investigación histórica, jurídica y social. Su integridad garantiza la veracidad de la información contenida en ello y su capacidad para aportar conocimiento sobre el pasado.
- Confianza en la información: La autenticidad de los documentos es esencial para que los investigadores y usuarios en general puedan confiar en la información que obtienen de los archivos. Un documento alterado o falso puede llevar a conclusiones erróneas y dañar la reputación de la institución archivística.
- Preservación del patrimonio cultural: Los fondos documentales son parte del patrimonio cultural de una sociedad y su preservación es un deber de las instituciones archivísticas. La integridad de estos fondos garantiza que las futuras generaciones puedan acceder a ellos y conocer su historia.
- Base para la toma de decisiones: los documentos de archivo sirven como base para la toma de decisiones en diversos ámbitos, como la gestión pública, la investigación científica y los procesos judiciales. La integridad de estos documentos es fundamental para garantizar la transparencia y la equidad en estos procesos.

¿Qué implica mantener la integridad y autenticidad de los fondos documentales?

- **Conservación adecuada:** Los documentos deben ser conservados en condiciones adecuadas para garantizar su durabilidad y evitar su deterioro.
- **Descripción precisa:** La descripción de los fondos documentales debe ser precisa y completa, incluyendo información sobre su origen, contenido y estado de conservación.
- **Control de acceso:** Se deben establecer mecanismos de control de acceso a los fondos documentales para evitar su alteración o pérdida.
- **Documentación de procesos:** Todos los procesos de gestión documental deben ser debidamente documentados para garantizar la trazabilidad y la transparencia.
- **Formación del personal: El** personal archivístico debe recibir una formación adecuada en materia de conservación y gestión documental.

Desafíos actuales: La preservación de la integridad y autenticidad de los fondos documentales se enfrenta a nuevos desafíos en la era digital, como:

- **Autenticidad de los documentos digitales:** La creación y manipulación de documentos digitales es cada vez más fácil, lo que plantea nuevos desafíos para garantizar su autenticidad.
- **Preservación a largo plazo:** Los formatos digitales tienen una vida útil limitada, lo que requiere de estrategias de migración y preservación a largo plazo.
- **Ciberseguridad:** Los archivos digitales son vulnerables a ataques cibernéticos, lo que exige implementar medidas de seguridad robustas.

Segundo principio:

Procedencia y orden original- Un pilar fundamental en la gestión archivística

El segundo principio del Código de ética de la ALA, que establece la importancia de respetar los principios de procedencia y orden original, es un pilar fundamental en la gestión archivística. Este principio guía la organización y conservación de los fondos documentales, garantizando su integridad y valor probatorios.

¿Por qué son tan importantes estos principios?

- **Contexto y significado:** Al mantener los documentos en su contexto original, se facilita la comprensión de su significado y se evita la pérdida de información valiosa.
- **Valor probatorio:** El orden original de los documentos es fundamental para establecer la secuencia de los hechos y la relación causal entre los mismos, lo que es esencial para su valor probatorio.
- **Facilita la investigación:** Al respetar esos principios, se facilita la investigación y el acceso a la información, ya que los documentos se encuentran organizados de manera lógica y coherente.
- **Preservación de la información: L**a aplicación de estos principios contribuye a la preservación a largo plazo de los fondos documentales, ya que evita la pérdida de información.

Tercer principio:

Evaluación documental – La clave para la selección y conservación

El tercer principio, centrado en la evaluación documental, es un pilar fundamental en la gestión archivística. Este proceso consiste en analizar los documentos de un fondo para determinar su valor y decidir cuáles deben ser conservados a largo plazo y cuáles pueden ser eliminados.

¿por qué es importante la evaluación documental?

- **Selección de documentos:** Permite identificar los documentos que tienen un valor histórico, legal o administrativo y que, por lo tanto, deben ser conservados.
- **Optimización del espacio:** Al eliminar los documentos que no tienen valor, se optimiza el espacio de almacenamiento y se reducen los costos de conservación.
- **Facilita la investigación:** Al concentrar los esfuerzos de conservación en los documentos más valiosos, se facilita la investigación y el acceso a la información.
- **Cumplimientos de normativas:** La evaluación documental es necesaria para cumplir con las normativas legales y administrativas que establecen los plazos de conservación de los documentos.

Cuarto principio:

Adquisición de fondos documentales – Ampliando el patrimonio archivístico

El cuarto principio, centrado en la adquisición de fondos documentales, es esencial para enriquecer y ampliar el patrimonio archivístico de una institución. Este proceso implica la incorporación de nuevos fondos a una colección existente, ya sea a través de donaciones, compras o transferencias de otras instituciones.

¿Por qué es importante la adquisición de fondos documentales?

- **Complementación de colecciones:** Permite completar las colecciones existentes, llenando vacíos temáticos o cronológicos.
- **Enriquecimiento del patrimonio:** Amplía el conocimiento sobre la historia de una institución, comunidad o región.
- **Diversificación de fuentes:** Ofrece una mayor variedad de fuentes documentales para la investigación.
- **Preservación de documentos:** Rescata documentos que podrían perderse o deteriorarse si permanecen en manos de particulares.
- **Cooperación institucional:** Fomenta la colaboración entre instituciones archivísticas.

Quinto principio:

Conformación de la memoria colectiva – El rol fundamental de los archivos

La conformación de la memoria colectiva se refiere al proceso a través del cual una sociedad construye, comparte y transmite sus recuerdos y experiencias compartidas a lo largo del tiempo. Los archivos, como repositorios de documentos históricos, desempeñan un papel crucial en este proceso, ya que conservan y ponen a disposición de las generaciones futuras la evidencia documental que permite reconstruir el pasado y comprender el presente.

¿Por qué es importante este principio?

- **Identidad colectiva:** La memoria colectiva es un elemento fundamental de la identidad de una sociedad. Los archivos, al preservar la memoria del pasado, contribuyen a fortalecer el sentido de pertenencia y cohesión social.
- **Democracia y justicia:** La memoria colectiva es esencial para la construcción de sociedades democráticas y justas. Permite reconocer los errores del pasado, aprender de ellos y evitar repetirlos.
- **Investigación y conocimiento:** Los archivos son una fuente inagotable de información para investigadores, historiadores y cualquier persona interesada en comprender el pasado.
- **Educación y formación:** La memoria colectiva es un elemento fundamental en la educación y formación de las nuevas generaciones. Los archivos permiten transmitir conocimientos y valores a las futuras generaciones.

Sexto principio:

Acceso a la información

¿Por qué es importante el acceso a la información?

El sexto principio del Código de ética de la ALA, que enfatiza el acceso a la información reconoce un derecho fundamental de las personas a conocer y utilizar la información contenida en los archivos. Este principio es esencial por las siguientes razones:

- **Transparencia y rendición de cuentas:** El acceso a la información promueve la transparencia en la gestión pública y privada, permitiendo a la ciudadanía ejercer su derecho a controlar el poder y exigir rendición de cuentas.
- **Democracia:** El acceso a la información es un pilar fundamental de la democracia, ya que permite a los ciudadanos participar de manera informada en los asuntos públicos.
- **Desarrollo:** El acceso a la información es esencial para el desarrollo económico y social, ya que fomenta la innovación, la investigación y la creación de conocimiento.
- **Justicia:** El acceso a la información es fundamental para garantizar la justicia, ya que permite a las personas defender sus derechos y acceder a la información necesaria para resolver conflictos.

Séptimo principio

Seguridad de la información

¿Por qué es importante la seguridad de la información de los archivos?

El séptimo principio, centrado en la seguridad de la información, es esencial para garantizar la preservación y accesibilidad a largo plazo de los fondos documentales. La seguridad de la información en los archivos implica proteger los documentos físicos y digitales de cualquier tipo de daño, pérdida o acceso no autorizado.

Su importancia radica en varios aspectos claves:

1. **Confidencialidad:** Asegura que solo las personas autorizadas tengan acceso a la información sensible, protegiendo la privacidad de los datos.
2. **Integridad:** Garantiza que la información no sea alterada o destruida de manera no autorizada, manteniendo su precisión y confiabilidad.
3. **Disponibilidad:** Asegura que la información y los sistemas estén disponibles y accesibles cuando se necesiten, minimizando el riesgo de interrupciones.
4. **Cumplimiento legal:** Ayuda a las organizaciones a cumplir con normativas y leyes relacionadas con la protección de datos, evitando sanciones y daños a la reputación.
5. **Confianza del cliente:** Mantener la seguridad de la información genera confianza en clientes y socios comerciales, lo que puede traducirse en una ventaja competitiva.
6. **Prevención de amenazas:** Permite identificar y mitigar riesgos y amenazas potenciales, protegiendo así los activos de la organización.

7. **Resiliencia organizacional:** Contribuye a la capacidad de la organización para recuperarse de incidentes de seguridad, asegurando la continuidad del negocio.

Octavo principio:

Conflicto de intereses e imparcialidad – La ética en la gestión archivística

¿por qué es importante la imparcialidad en la gestión archivística?

La imparcialidad es un principio fundamental en la gestión archivística, ya que garantiza que los archivos sean utilizados de manera objetiva y transparente. La imparcialidad implica:

- **Tratar a todos los usuarios por igual:** Otorgar a todos los usuarios el mismo acceso a la información, sin discriminación alguna.
- **Ser objetivos en la evaluación y selección de los documentos:** Valorar los documentos en función de su valor histórico, legal o administrativo, sin dejarse influenciar por intereses personales.
- **Preservar la integridad de los documentos:** Proteger los documentos de cualquier tipo de alteración o destrucción.

Noveno principio:

Actualización y formación continua – La clave para una gestión archivística eficaz

¿Por qué es importante la actualización y formación continua en el ámbito archivístico?

El noveno principio, centrado en la actualización y formación continua, subraya la necesidad de que los profesionales de la archivística se mantengan al día en un campo en constante evolución. La importancia de este principio radica en:

- **Adaptación a los cambios:** El entorno digital, las nuevas tecnologías y las demandas cambiantes de la sociedad exigen que los archivistas se adapten constantemente a nuevas herramientas y metodologías.
- **Mejora de los servicios:** La formación continua permite a los archivistas ofrecer servicios de mayor calidad y responder de manera más efectiva a las necesidades de los usuarios.
- **Preservación del patrimonio documental:** Los avances en conservación y restauración requieren una actualización constante de conocimientos para garantizar la preservación a largo plazo de los fondos documentales.
- **Desarrollo profesional:** La formación continua contribuye al desarrollo profesional de los archivistas, fomentando su crecimiento y especialización.

Décimo principio:

Cooperación profesional e interdisciplinaria

¿Por qué es importante la cooperación profesional e interdisciplinaria en la gestión archivística?

El décimo principio, centrado en la cooperación profesional e interdisciplinaria, reconoce la importancia de trabajar en conjunto con otros profesionales y disciplinas para alcanzar objetivos comunes en la gestión archivística. Esta colaboración es fundamental por las siguientes razones:

- **Enriquecimiento del conocimiento:** La interacción con profesionales de otras áreas (historiadores, conservadores, informáticos, etc.) permite enriquecer el conocimiento y abordar los desafíos de manera más integral.
- **Sinergia:** La combinación de diferentes perspectivas y habilidades fomenta la innovación y la búsqueda de soluciones creativas.
- **Optimización de recursos:** La colaboración permite optimizar el uso de recursos, tanto humanos como materiales.
- **Ampliación de redes:** La cooperación con otras instituciones y profesionales facilita la creación de redes de colaboración y el intercambio de experiencias.
- **Abordaje de proyectos complejos:** Los proyectos complejos, como la digitalización de grandes volúmenes de documentos o la creación de metadatos complejos, requieren la colaboración de equipos multidisciplinarios". (ALA, 2024)

3.4.- Cuadro Comparativo de Códigos de ética archivística internacionales

Criterios de comparación	Consejo Internacional de Archivos (ICA/CIA	Society of American Archivists (SAA)	Asociación Latinoamericana de Archivos (ALA)
Ámbito y alcance	Global. Aplica como estándar normativo básico de referencia internacional para los archivistas de todo el mundo.	Nacional/ regional (EE.UU). Orientado a la comunidad profesional de EE.UU, y a organizaciones con fondos archivísticos bajo su jurisdicción.	Iberoamericano/Latinoamericano. Diseñado para responder a la realidad social, cultural y jurídica de América Latina y la península Ibérica.
Enfoque principal	Preservación y custodia del patrimonio. Centrado en la imparcialidad, integridad documental, conservación y acceso universal como bien público.	Relaciones profesionales, confianza e inclusión. Prioriza la equidad, responsabilidad social, transparencia institucional y diversidad	Derechos Humanos y Memoria Social. Fuerte orientación hacia los archivos como garantía de verdad, justicia, reparación y lucha contra la impunidad.
Acceso y Privacidad	Promueve el acceso más amplio posible, respetando límites legales, confidencialidad, vida privada y normativas vigentes.	Busca el equilibrio entre transparencia y privacidad, con énfasis en eliminar barreras injustas de acceso y respetar el consentimiento.	Defiende el acceso democrático y la transparencia pública, priorizando la apertura de archivos de violaciones a derechos humanos y memoria histórica.
Integridad e imparcialidad	Prohibe el uso de la posición para beneficio personal o la manipulación de documentos. Exige mantener la prodedencia y el contexto	Subraya la necesidad de ser consciente de los sesgos del propio archivista y la neutralidad crítica en la gestión de colecciones.	Enfatiza la independencia profesional frente a presiones políticas, económicas o de censura estatal, promoviendo la resistencia ante la destrucción ilegal.
Diversidad e inclusión	Trato igualitario y profesional sin discriminación hacia usuarios ni creadores de documentos	Hace explícita la antidiscriminación, justicia racial y social e inclusión de comunidades históricamente marginadas	Promueve el reconocimiento de la pluriculturalidad, la visibilización de pueblos originarios, grupos vulnerabilizados y memoria comunitaria.
Estructura y formato	10 principios morales clave acompañados de comentarios explicativos.	Declaración articulada en torno a valores fundamentales (Core Values) y principios éticos interrelacionados.	Principios orientadores adaptados que articulan el ejercicio profesional con el contexto de las asociaciones regionales y el bien común.

Fuente: Códigos de ética CIA/ ICA, SAA, ALA. Elaboración propia

3.5- Puntos importantes de diferenciación

1. **ICA / CIA** (El estándar base)**:** Adoptado en la Asamblea General de Beijing (1996). Sirve de marco general para que cada país u organización desarrolle su propia normativa adaptada.
2. **SAA** (El enfoque t**écnico y** social norteamericano)**:** Pone foco en las dinámicas profesionales modernas, abordando temas como la equidad de acceso, los sesgos en la descripción archivística y las buenas prácticas en entornos digitales.

3. **ALA** (El compromiso socio-político latinoamericano)**:** Recoge las particularidades históricas de la región (transiciones democráticas, violaciones a los DD.HH., memorias locales) y sitúa al archivista como un agente activo en la defensa del patrimonio colectivo y la rendición de cuentas pública.

4.- Normatividad archivística sobre ética peruana

Código ético de la función pública

En agosto del 2002 se promulgó la Ley del Código de Ética de la Función Pública, sustentada en principios y valores que deben regir la actitud y desempeño del servidor y funcionario público, cualquiera sea su nivel jerárquico y bajo cualquier modalidad contractual en la que se encuentre.

El Código establece deberes y prohibiciones éticas, así como los incentivos, sanciones y procedimientos para su aplicación, desde normas de conducta o normas sobre integridad, hasta ética gubernamental y nepotismo.

Este instrumento creado para construir un Estado gestionado de manera eficiente, transparente, eficaz, no corrupto, con respeto a los derechos y obligaciones y por sobre todo al servicio de la ciudadanía; busca incentivar en los trabajadores públicos la "Cultura ética" que los peruanos merecen.

Por ello es imprescindible que todo servidor en la función pública conozca y haga suyos estos principios rectores, que se ponen a su disposición en esta sección.

Imagen N°1: Ley del Código de Ética de la Función Pública aprobado en agosto de 2002 que establece los principios y valores éticos que deben orientar la conducta y el desempeño de los servidores y funcionarios públicos.



Fuente: Presidencia del Consejo de ministros (2002)

4.1.- Código de ética archivística del Archivo General de la Nación

El AGN regula la conducta de sus profesionales a través de su Código de Ética del Archivo General de la Nación, aprobado por la *Resolución Jefatural N.° 056-2021-AGN/J*, que reemplazó las normas de ética anteriores del año 2000.

Transcribimos las partes más importantes del **C**ódigo de ética del AGN

"OBJETIVO Normar y establecer mecanismos para la promoción de los principios, deberes y prohibiciones que orientan los valores éticos de los servidores, funcionarios y colaboradores, bajo cualquier modalidad de contratación, del Archivo General de la Nación, en adelante AGN.

DISPOSICIONES GENERALES

Valores institucionales

Los servidores del AGN en el marco de sus competencias desarrollan los siguientes valores institucionales, los cuales inspiran y están orientados a asegurar su eficiencia, integridad e identificación con la entidad:

- **Vocación de servicio**: Disposición permanente para dar oportuna y esmerada atención a los requerimientos y responsabilidades asignadas, actuando con asertividad para que dichos actos sean percibidos por la ciudadanía y entre compañeros de labores.
- **Compromiso**: Identificación con la entidad, siendo proactivo, eficiente y perseverante, dando cumplimiento a los objetivos propuestos y actuando más allá de una tarea definida o encomendada.
- **Integridad**: Disposición de actuar con honestidad, transparencia, responsabilidad y respeto conforme a las normas legales vigentes, los valores y principios de la entidad.
- **Solidaridad**: Tener empatía y espíritu de colaboración con los compañeros de labores, así como con la ciudadanía y personas usuarias a las que se brinda atención a través de canales informativos y de acceso archivístico.

Principios, deberes y prohibiciones de los servidores del AGN

Los servidores del AGN bajo el ámbito de aplicación del presente código, deberán regirse de acuerdo a los principios, deberes y prohibiciones establecidas en la Ley 27815, Ley del Código de Ética en la Función Pública, y sus modificatorias en la Ley 28496, los mismos que se indican a continuación:

Principios

a) Legalidad: Las autoridades administrativas deben actuar con respeto a la Constitución, la ley y al derecho, dentro de las facultades que le estén atribuidas y de acuerdo con los fines para los que les fueron conferidas.

b) Respeto: Adecúa su conducta hacia el respeto de la Constitución y las leyes, garantizando que en todas las fases del proceso de toma de decisiones o en el cumplimiento de los procedimientos administrativos, se respeten los derechos a la defensa y al debido procedimiento.

Los servidores de AGN deben desarrollar sus actividades en función estricta a las disposiciones contenidas por norma expresa, respetando los procedimientos regulados en las leyes y reglamentos aplicables, persiguiendo sus fines.

Los actos vinculados a situaciones de discriminación, por cualquier motivo (origen, raza, sexo, idioma, religión, condición economía o de cualquier otra índole), así como conductas que afecten la integridad personal (acoso, chantaje, entre otros), resultan incompatibles y vulneran consecuentemente el principio de respeto. Por lo tanto, en la conducta de los servidores del AGN debe primar un trato igualitario, digno y respetuoso.

c) Probidad: Actúa con rectitud, honradez y honestidad, procurando satisfacer el interés general y desechando todo provecho o ventaja personal, obtenido por sí o por interpósita persona.

Los servidores de AGN en cada uno de los procedimientos a su cargo buscan satisfacer el interés general mediante el logro de los objetivos institucionales, actuando con rectitud e integridad, desechando todo provecho o ventaja que puedan beneficiarlos que transgreda lo normado.

La conducta de probidad de los servidores del AGN se debe resaltar por su relación con los administrados, ya sean usuarios de los servicios que ofrece la entidad a la ciudadanía o proveedores; asimismo corresponde mantener dicha conducta frente a todos los servidores del AGN.

d) Eficiencia: Brinda calidad en cada una de las funciones a su cargo, procurando obtener una capacitación sólida y permanente.

Los servidores del AGN deben prestar un servicio de calidad, centrado en la mejora de los niveles de satisfacción de la ciudadanía, realizando innovaciones en el servicio o incorporación de buenas prácticas de gestión pública u otras acciones que puedan generar un resultado óptimo o efecto determinado dentro de la entidad.

e) Idoneidad: Entendida como aptitud técnica, legal y moral, es condición esencial para el acceso y ejercicio de la función pública. Debe propender a una formación sólida acorde a la realidad, capacitándose permanentemente para el debido cumplimiento de sus funciones.

Los servidores del AGN prestan en cada servicio aptitud, actitud, capacidad y correcto desempeño, con la finalidad de superar las expectativas, objetivos y resultados, que se verán reflejados en la satisfacción de la ciudadanía.

f) Veracidad: Se expresa con autenticidad en las relaciones funcionales con todos los miembros de su institución y con la ciudadanía, y contribuye al esclarecimiento de los hechos.

Bajo el amparo del principio de veracidad, las expresiones, declaraciones, afirmaciones, certificaciones que emiten los servidores del AGN deben ser veraces, siendo su responsabilidad confirmar la certeza de los hechos que afirman.

g) Lealtad y obediencia: Actúa con fidelidad y solidaridad hacia todos los miembros de su institución, cumpliendo las órdenes que le imparta el superior jerárquico competente, en la medida que reúnan las formalidades del caso y tengan por objeto la realización de actos de servicio que se vinculen con las funciones a su cargo, salvo los supuestos de arbitrariedad o ilegalidad manifiestas, las que deberá poner en conocimiento del superior jerárquico de su institución.

Corresponde a los servidores del AGN ejecutar de manera eficiente las órdenes emitidas con las formalidades legales correspondientes, que le imparta el superior jerárquico competente, a

fin de evitar la afectación de la continuidad y oportunidad del cumplimiento de las acciones de gestión, salvo ordenes que pudieran contradecir o vulnerar el ordenamiento jurídico que conlleve a la ejecución de actos ilegales o situaciones similares. La potestad jerárquica es jurídica y técnica, más no arbitraria o autoritaria.

h) Justicia y equidad: Tiene permanente disposición para el cumplimiento de sus funciones, otorgando a cada uno lo que le es debido, actuando con equidad en sus relaciones con el Estado, con el administrado, con sus superiores, con sus subordinados y con la ciudadanía en general.

Los servidores del AGN deben promover la igualdad de todas las personas en el acceso a las oportunidades y beneficios que se deriva de la prestación efectiva de servicio en la entidad, asimismo debe adoptar sus decisiones de manera equitativa.

i) Lealtad al estado de derecho: Los servidores del AGN deben lealtad a la Constitución, las leyes vigentes y al estado de derecho.

Se encuentra vinculado con el principio de respeto, y mediante el mismo se busca garantizar el compromiso activo de los servidores del AGN con las disposiciones constitucionales y con el estado de derecho.

Deberes

a) Imparcialidad: Debe actuar con absoluta imparcialidad política, económica o de cualquier otra índole en el desempeño de sus funciones demostrando independencia a sus vinculaciones con personas, partidos políticos o instituciones.

Los servidores del AGN deben fundar sus actuaciones con imparcialidad donde conlleven a la satisfacción de las necesidades del interés general con sustento en la normativa vigente correspondiente, evitando guiarse por finalidades particulares de índole personal o institucional, es decir, las decisiones que adopte en la entidad no deben considerar aspectos políticos, económicos o de cualquier otra índole que de alguna u otra manera ponga en riesgo el interés público.

b) Transparencia: Debe ejecutar los actos del servicio de manera transparente, ello implica que dichos actos tienen en principio carácter público y son accesibles al conocimiento de toda persona natural o jurídica. El servidor público debe de brindar y facilitar información fidedigna, completa y oportuna.

Los servidores del AGN desarrollan sus actos y funciones asegurando que la ciudadanía tenga acceso a la información que tiene y que genera la entidad en el momento y la forma que lo requieran, conforme a la normatividad vigente.

Asimismo, se publicitan los logros y dificultades que presenta la entidad, de tal manera que la ciudadanía tenga cabal conocimiento, con el objetivo de motivar su participación en asuntos públicos.

c) Discreción: Debe guardar reserva respecto de hechos o informaciones de los que tenga conocimiento con motivo o en ocasión del ejercicio de sus funciones, sin perjuicio de los deberes y las responsabilidades que le correspondan en virtud de las normas que regulan el acceso y la transparencia de la información pública.

Los servidores del AGN se conducen con reserva y prudencia en el ejercicio de sus funciones y al finalizar las mismas, debiendo guardar el deber de reserva sobre hechos que conozca o infor-

mación de la entidad o de terceros que no sean de acceso legítimo a la ciudadanía o necesaria divulgación para el fin que lo justifica.

d) Ejercicio adecuado del cargo: Con motivo o en ocasión del ejercicio de sus funciones el servidor público no debe adoptar represalia de ningún tipo o ejercer coacción alguna contra otros servidores públicos u otras personas.

Los acciones y disposiciones que adopten los servidores del AGN en el ejercicio de sus funciones deben regirse dentro del marco de la licitud de los fines públicos en concordancia con su base normativa que regulan sus procedimientos.

e) Uso adecuado de los bienes del Estado: Debe proteger y conservar los bienes del Estado, debiendo utilizar los que le fueran asignados para el desempeño de sus funciones de manera racional, evitando su abuso, derroche o desaprovechamiento, sin emplear o permitir que otros empleen los bienes del Estado para fines particulares o propósitos que no sean aquellos para los cuales hubieran sido específicamente destinados.

Los bienes del AGN están asignados a sus servidores para el cumplimiento de sus funciones, por lo que, corresponde proceder conforme a las normativas internas y vigentes al realizar todos los actos que en el ejercicio de sus deberes se desarrollen salvaguardando los intereses de la entidad.

Asimismo, los recursos materiales y financieros del AGN se invierten y conservan de manera austera, así como los bienes y servicios orientados a los resultados programados y a la satisfacción plena del interés público.

f) Responsabilidad: Todo servidor público debe desarrollar sus funciones a cabalidad y en forma integral, asumiendo con pleno respeto su función pública. Ante situaciones extraordinarias, el servidor público puede realizar aquellas tareas que por su naturaleza o modalidad no sean las estrictamente inherentes a su cargo, siempre que ellas resulten necesarias para mitigar, neutralizar o superar las dificultades que se enfrenten, asimismo, el servidor público se encuentra obligado a denunciar hechos irregulares anteriores al momento y durante la toma de cargo.

Los servidores del AGN deben desarrollar el contenido de sus funciones con diligencia, esmero y seguridad, agotando los esfuerzos para ejercer sus actividades a cabalidad y en forma integral, asumiendo las consecuencias de conductas indebidas.

Se debe dar respeto a los derechos de los administrados con respecto a los procedimientos que realicen en la entidad, los mismos que se encuentran descritos en el TUO de la Ley N° 27444 – Ley del Procedimiento Administrativo General.

PROHIBICIONES

a) Mantener intereses de conflicto: Mantener relaciones o aceptar situaciones en cuyo contexto sus intereses personales, laborales, económicos o financieros pudieran estar en conflicto con el cumplimento de los deberes y funciones a su cargo.

Los servidores del AGN deben distinguir y separar de forma radical los intereses personales de los intereses públicos a su cargo, así como deben adoptar todas las medidas a su alcance para prevenir o evitar el encuentro de intereses en el desarrollo de su actividad que afecte la credibilidad en la recta gestión de la administración pública.

En ese sentido, los servidores del AGN evitan comprometerse en cualquier actividad que pueda afectar su imparcialidad, estando en permanente atención a cualquier actual o potencial conflicto de interés que se pueda producir para su posterior denuncia.

b) Obtener ventajas indebidas: Obtener o procurar beneficios o ventajas indebidas, de manera directa o indirecta para sí o terceros, mediante el uso de su cargo, autoridad, influencia o apariencia de influencia, así como recibir obsequios por parte de los administrados y/o postores.

Los servidores del AGN perciben su compensación económica que les corresponde por la labor desempeñada a favor de los objetivos de la entidad, siendo dicha compensación efectuada por el AGN y no por terceros que realicen pagos indebidos a cambio de otorgar algún tipo de ventaja a procedimientos bajo competencias funcionales. Asimismo, está prohibido recibir regalos, cortesías y atenciones de servicios o bienes, por parte de algún proveedor o tercero con motivo o en ocasión del desempeño de funciones.

Queda exceptuada por considerarse obsequios de costumbre diplomática, aquellos reconocimientos protocolares recibidos de gobiernos, organismos internacionales o entidades sin fines de lucro, en las condiciones en las que la ley o la costumbre los admitan.

c) Realizar actividades de proselitismo político: Realizar actividades de proselitismo político a través de la utilización de sus funciones o por medio de la utilización de infraestructura, bienes o recursos públicos, ya sea a favor o en contra de partidos u organizaciones políticas o candidatos.

Esta prohibición se encuentra relacionada con el deber de neutralidad política; las funciones y actividades de los servidores del AGN no están vinculadas a favor de un partido o movimiento político, correspondiendo dar atención a los fines propios del interés general y objetivos de la entidad.

d) Hacer mal uso de información reservada: Participar en transacciones u operaciones financieras utilizando información reservada de la entidad a la que pertenece o que pudiera tener acceso a ella por su condición o ejercicio del cargo que desempeña, ni debe permitir el uso impropio de dicha información para el beneficio de algún interés.

Cabe precisar que no se considera información reservada aquella que se desprende de documentación de acceso público, la cual debe ser proporcionada de forma oportuna cuando sea solicitada garantizando la satisfacción de la ciudadanía.

e) Presionar, amenazar y/o acosar: Ejercer presiones, amenazas o acoso sexual contra otros servidores civiles o subordinados que puedan afectar la dignidad de la persona o inducir a la realización de acciones dolosas.

Se encuentra prohibida cualquier actuación relacionada a ejercer coacción o amenaza contra servidores del AGN para que, en el ejercicio de sus funciones o actividades en favor de la entidad, sea inducido a realizar acciones dolosas.

Los servidores del AGN deben brindar a sus compañeros de labores un ambiente libre de hostigamiento laboral y acoso sexual, es decir, toda conducta física o verbal reiterada que afecte a la dignidad de la persona, pudiendo a su vez ser de naturaleza sexual o sexista.

Para ello, se debe tener en consideración las disposiciones, lineamientos, guías u otros instrumentos que sean aprobados por la entidad y en particular sean emitidos por el Ministerio de

Trabajo y Promoción del Empleo - MINTRA, y las leyes en materia de prevención y sanción del hostigamiento sexual…" (AGN, 2021)

5.- Conclusiones

La ética no es solo un ideal abstracto, sino una herramienta práctica y obligatoria para asegurar que cualquier actividad se realice con responsabilidad, justicia y respeto hacia los demás.

Los códigos éticos de los profesionales buscan orientar el comportamiento hacia la corrección, el respeto y la moralidad, sirviendo como guía tanto para empresas e instituciones como para profesionales independientes. Aunque cada organización puede adaptar sus normas según sus objetivos y cultura, todos los códigos comparten principios mínimos y universales que deben guiar a sus integrantes. A mayor responsabilidad sobre la vida, la estabilidad emocional o el bienestar de terceros, más estrictos deben ser los deberes y obligaciones del profesional. Las normas deontológicas como: El secreto profesional e información, respeto a los derechos y dignidad, integridad, responsabilidad social son los pilares de actuación.

Al leer los códigos de ética archivística internacionales y nacionales (CIA/ICA, SAA, ALA y el AGN del Perú), la conclusión general a la que llegamos es que el archivero no es un mero ejecutor técnico ni un custodio pasivo de papeles, sino un garante ético y social de la memoria, la verdad y los derechos ciudadanos.

Los códigos de ética expuestos coinciden en definir la identidad y el compromiso profesional del archivero a través de cuatro bases fundamentales:

1. Custodio de la integridad e imparcialidad documental. El archivero tiene la responsabilidad ética irrenunciable de preservar el documento en su contexto original (respetando los principios de procedencia e integridad). Debe actuar con imparcialidad, rechazando cualquier intento de manipulación, alteración, ocultamiento o destrucción ilícita de información por presiones políticas, económicas o personales.

2. Defensor del acceso público y la transparencia. La gestión documental cobra su verdadero sentido cuando sirve a la sociedad. El archivero actúa como puente entre los documentos y la ciudadanía, promoviendo el acceso más amplio posible a la información para garantizar el control ciudadano, la rendición de cuentas e instituciones transparentes, siempre respetando los límites legítimos de la privacidad y la protección de datos personales.

3. Agente garantizador de derechos humanos y memoria social. Especialmente visible en los marcos iberoamericanos y peruanos (ALA y AGN-Perú), el archivo es la base objetiva de la verdad, la justicia, la reparación y la lucha contra la impunidad. El profesional de archivos protege el patrimonio documental no solo como testimonio del pasado, sino como salvaguarda jurídica de los derechos fundamentales de las personas y de las comunidades marginadas o vulneradas.

4. Gestor ético y equitativo de la diversidad. Los códigos modernos demandan un profesional consciente de sus propios sesgos en los procesos de selección, organización y descripción. El archivero debe visibilizar la pluriculturalidad, proteger la memoria comunitaria e incluir narrativas históricamente excluidas o subrepresentadas.

La calidad y legitimidad de un archivo dependen directamente de la integridad moral e independencia profesional del archivero. La gestión documental técnica es la herramienta; el

compromiso con la verdad, la democracia, la memoria histórica y los derechos humanos es el propósito final.

6.- Literatura citada

Archivo General de la Nación (2021). Código de Ética del Archivo General de la Nación, aprobado por la Resolución Jefatural N.° 056-2021-AGN/J.

Archivo General de la Nación (2022). Código de Conducta (*RJ Nº 242-2022-AGN/JE*)

Asociación Latinoamericana de Archivos (ALA) (2024)**.** Código de ética. Recuperado: https://es.scribd.com/document/881560157/Presentacion-Liz-y-Rosa.

Concepto de ética. Recuperado: https://concepto.de/etica/

Consejo Internacional de Archivos (CIA/ICA) (1996). Código de ética profesional. Recuperado: Downloads/ICA_1996-09-06_code-of-ethics_ES%20(1).pdf

Exposición: El ejercicio de la ética en la profesión archivística. /Downloads/Exposicion%20en%20el%20Encuentro%20de%20Archivos%20Universitarios%20%202012.pdf.

Nieto Vélez, Armando (1986). Ética del archivero. En: Textos para el estudio archivístico. Lima- Bonn.

Presidencia del Consejo de ministros (2002). Código ético de la función pública. Recuperado: https://www.midagri.gob.pe/portal/299-codigo-de-etica.

RAE (2014). Diccionario de la lengua española

SCRIBD. Recuperado: https://es.scribd.com/document/572580779/11-Codigo-de-Etica-Profesional.

Society of American Archivistis (SAA) (2025). Declaración de valores fundamnetales y código de ética . https://www2.archivists.org/statements/saa-core-values-statement-and-code-of-ethics.

NUESTRO FORMATO

CTS CAFE Para ciudadanos…

REVISTA DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA

FORMATO DE PRESENTACIÓN DE ARTÍCULO

Para todos aquellos investigadores científicos y al público en general que deseen publicar sus trabajos en esta su ***Revista de Investigación Multidisciplianria CTSCAFE*** y para la correcta revisión por parte de nuestro Comité Científico de los artículos que serán escogidos para la publicación, los archivos de su artículo deveran ser enviados por correo electrónico a los editores: **revistactscafe@ctscafe.pe**. Los trabajos pueden ser presentados en idioma castellano, inglés o francés siguiendo las siguientes indicaciones:

Título del Articulo: Español, Inglés, francés y portugués escrito en altas y bajas, con una longitud no mayor a 150 caracteres, incluidos espacios.

Autor-autores: Nombre y apellido del autor o los autores. Afiliación institucional de los autores, correo electrónico de cada uno de los autores, indicando la dirección postal del autor para correspondencia si es que tuviera.

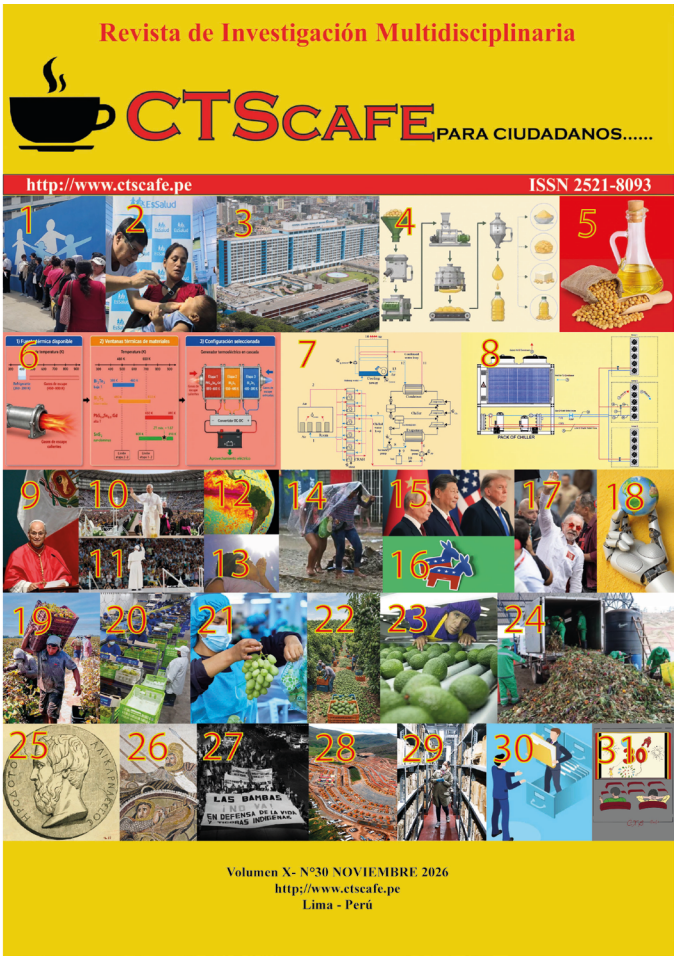
Resumen: no mayor de 250 palabras en Español, Inglés, y Francés

Palabras clave: cinco en español, inglés, y francés

Cuerpo: El cuerpo del artículo debe presentar:

1- **Introducción**
2- **Material y métodos**
3- **Resultados**
4- **Discusión**
5- **Agradecimiento**
6- **Conclusiones**
7- **Literatura Citada** (Incluirá todas las referencias citadas en el texto dispuestas solamente en orden alfabético y sin numeración. La cita se inicia con el apellido del primer autor a continuación, sin coma, las iniciales del nombre separadas con puntos y sin espacio. El segundo y tercer autor deben de tener las iniciales de los nombre y a continuación el apellido. El último autor se diferenciara por que le antecede el símbolo &. Si hubiesen más de tres autores pueden ser indicados con la abreviatura et al. Los nombres de las publicaciones periódicas (revistas) pueden ir en la abreviatura oficial considerada según su código ISSN. El código DOI debe ser colocado al final de la referencia. En la literatura citada solamente se usa letra tipo normal, no itálica, no versalita).

ÍNDICE DE IMÁGENES



De izquierda a derecha

1. https://www.defensoria.gob.pe/lambayeque-defensoria-del-pueblo-permitio-ampliar-atencion-y-reducir-colas-en-hospital-essalud-de-chiclayo/
2. https://www.radionacional.gob.pe/noticias/nacional/essalud-lleva-atencion-medica-a-santa-rosa-y-caballococha-en-loreto
3. tomado de @EsSaludPeru
4. Instagram.com/p/DbEgeVMm-e6/
5. https://delagarzamateriasprimas.com/aceite-de-soya/
6. Saavedra, Baquerizo & Zarate (2026)
7. Angulo, Huarcusi, Lopez, Barrientos & Suarez (2026)
8. Angulo, Huarcusi, Lopez, Barrientos & Suarez (2026)
9. https://www.lafm.com.co/internacional/papa-leon-xiv-peru-lima-gira-del-argentina-uruguay-417351#google_vignette
10. https://www.facebook.com/identidadlatina/posts/papa-leo-en-el-estadio-nacional-como-es-costumbre-la-visita-del-papa-incluy%C3%B3-un-/1998772628095432/
11. https://diariocorreo.pe/peru/papa-leon-xiv-en-peru-como-obtener-entradas-gratis-para-la-vigilia-en-el-estadio-nacional-noticia/
12. https://www.infobae.com/peru/2026/10/08/fenomeno-el-nino-cambia-el-panorama-climatico-en-peru-se-adelantan-las-lluvias-en-todo-el-litoral-y-preven-records-de-temperatura/
13. https://www.infobae.com/peru/2024/02/28/el-sol-no-dara-tregua-temperaturas-altas-continuaran-en-lima-hasta-la-primera-quincena-de-marzo-pese-a-fin-de-ola-de-calor/
14. https://andina.pe/agencia/noticia-el-nino-podria-tener-un-mayor-impacto-a-fines-2026-esto-dicen-las-agencias-del-clima-1070134.aspx#google_vignette
15. https://crnnoticias.com/cumbre-apec-2026-china-acuerdos-comercio-energia/
16. https://www.rfi.fr/es/programas/noticias-de-am%C3%A9rica/20260628-estados-unidos-el-partido-dem%C3%B3crata-en-agitaci%C3%B3n
17. https://www.facebook.com/LaCronicaDeHoy/posts/-luiz-in%C3%A1cio-lula-da-silva-gan%C3%B3-la-segunda-vuelta-de-las-elecciones-presidencial/122254981148288324/
18. Imagen trabajada en base a https://www.elcorreo.com/sociedad/robots-aduenan-20171108215153-nt.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.elcorreo.com%2Fsociedad%2Frobots-aduenan-20171108215153-nt.html
19. https://www.agroperu.pe/midagri-articula-venta-directa-de-161-toneladas-de-uva-de-productores-de-canete-a-la-industria-pisquera/
20. https://andina.pe/agencia/noticia-peru-se-consolida-como-principal-productor-y-exportador-mundial-uvas-1095802.aspx
21. https://andina.pe/agencia/noticia-peru-se-consolida-como-principal-productor-y-exportador-mundial-uvas-1095802.aspx
22. https://www.facebook.com/Asociaciondeexportadores/posts/la-palta-peruana-no-se-detiene-si-bien-se-exporta-todo-el-a%C3%B1o-su-campa%C3%B1a-va-de-m/1380634897435509/
23. https://elcomercio.pe/economia/peru/agricultores-arequipenos-quintuplicaron-su-produccion-anual-de-palta-hass-afirmo-midagri-nndc-noticia/
24. https://andina.pe/agencia/noticia-economia-circular-comunidad-cusquena-produce-abono-natural-a-partir-residuos-organicos-1007744.aspxhttps://polarexpres.es/realizar-transporte-medicamentos/
25. https://www.thecollector.com/ancient-egypt-animals-herodotus-histories/?utm_source=Pinterest&utm_medium=organic
26. https://www.flickr.com/photos/mymuk/6548565499?utm_source=Pinterest&utm_medium=organic
27. https://dialogoshumanos.pe/2022/05/01/conflicto-en-las-bambas-cuando-el-reclamo-por-los-derechos-humanos-y-comunales-es-respondido-con-represion-estatal/
28. https://www.rcrperu.com/se-necesita-un-plan-de-desarrollo-para-que-las-bambas-pueda-beneficiar-a-las-regiones-de-apurimac-y-el-cusco/
29. https://www.elperuano.pe/noticia/157101-archivo-general-de-la-nacion-la-institucion-que-salvaguarda-los-documentos-del-peru
30. https://www.unir.net/revista/humanidades/archivista-archivologo/
31. Ilustración realizada por M. Villavicencio (noviembre 2026)

REVISTA DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA

CTSCAFE Para ciudadanos…

http://www.ctscafe.pe

Volumen X- N° 30 Noviembre 2026

Contáctenos en nuestro correo electrónico

revistactscafe@ctscafe.pe

Página Web:

http://ctscafe.pe