

GESTIÓN DE OPERACIONES INDUSTRIALES

Revista de Ingeniería Industrial con Enfoque en la Industria 4.0



GESTIÓN DE OPERACIONES INDUSTRIALES

Revista de Ingeniería Industrial con enfoque en la Industria 4.0

Vol. 04, N° 01, Enero - Julio 2025

Editado en Julio 2025

ISSN: 2810 - 8914 (En línea)

URL: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/RINGIND>

Email: goi4.0@unitru.edu.pe

© Universidad Nacional de Trujillo

Facultad de Ingeniería, Trujillo

Escuela Profesional de Ingeniería Industrial

Av. Juan Pablo II S/N – Ciudad Universitaria, Trujillo, La Libertad, Perú.

EDITORES:

Dr. Luis Alberto Benites Gutiérrez 
Universidad Nacional de Trujillo
Av. Juan Pablo II, km 4.6 - 13011
Trujillo (Perú)
Correo-e: lbenites@unitru.edu.pe

Dr. Joe Alexis González Vásquez 
Universidad Nacional de Trujillo
Av. Juan Pablo II, km 4.6 - 13011
Trujillo (Perú)
Correo-e: jgonzalezv@unitru.edu.pe

COMITÉ EDITORIAL:

Dr. Claudio Ruff, Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago (Chile) 
Dra. Purificación Galindo Villardón, Universidad de Salamanca, Salamanca (España) 
Dr. Rafael Espinosa Mosqueda, Universidad de Guanajuato, Guanajuato (México) 
Dr. Marcelo Ruiz Toledo, Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago (Chile) 
Dr. Orivel Jackson Buchelli Perales, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo (Perú) 
Dr. Segundo Seijas Velásquez, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo (Perú) 
Dr. Alexis Matheu Pérez, Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago (Chile) 
Dr. Iván Martín Olivares Espino, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo (Perú) 
Dr. Joel David Vargas Sagastegui, Universidad San Martín de Porres, Lima (Perú) 
Dr. Alex Ruiz Torres, Universidad de Puerto Rico, San Juan (Puerto Rico) 
Dr. Segundo Castro Gonzáles, Universidad de Puerto Rico, San Juan (Puerto Rico) 
Dr. Edgar D. Ramos, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima (Perú) 
Dr. Jorge Luis Rojas Arce, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 
(México)

CRÉDITOS

REVISTA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CON
ENFOQUE EN LA INDUSTRIA 4.0

GESTIÓN EN OPERACIONES INDUSTRIALES

VOL. 04, N° 01

2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
TRUJILLO**

RECTOR

Dr. Hermes Natividad Sifuentes Inostroza

VICERRECTOR ACADÉMICO

Dr. Pablo Aguilar Marín

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN

Dr. Víctor Eduardo Lau Torres

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Dr. Miguel Armando Benites Gutiérrez

DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y ÉTICA

Dr. Franklin Roger Vargas Vásquez

**DIRECTOR DE DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Dr. Francisco Elías Rodríguez Novoa

**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL**

Dr. Orivel Jackson Buchelli Perales

PRÓLOGO

Con gran entusiasmo presentamos el Número 01 del Volumen 04 de la revista *Gestión de Operaciones Industriales con Enfoque en la Industria 4.0*, una publicación académica que reafirma su compromiso con la generación y difusión del conocimiento, impulsada desde la Escuela de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Trujillo. Este esfuerzo editorial continúa siendo respaldado por el Grupo de Investigación INCADSU 4.0, cuya misión es promover la innovación, el desarrollo tecnológico y la excelencia académica en sintonía con los retos de la transformación digital.

En esta nueva edición, hemos reunido una cuidadosa selección de artículos originales y artículos de revisión que abordan, desde diversas perspectivas, los avances, desafíos y oportunidades en el campo de la gestión de operaciones industriales. Los trabajos incluidos exploran temas actuales vinculados con la optimización de procesos, la sostenibilidad, la transformación tecnológica y las tendencias emergentes propias de la Industria 4.0, ofreciendo un aporte significativo para investigadores, profesionales y estudiantes que buscan mantenerse a la vanguardia del conocimiento.

Cada contribución que el lector encontrará en estas páginas ha pasado por un proceso riguroso de revisión por pares, garantizando no solo la calidad científica, sino también la pertinencia de los contenidos frente a las demandas del entorno industrial contemporáneo. Agradecemos profundamente a los autores por su dedicación, a los revisores por su compromiso y a todo el equipo editorial por su labor constante en favor de esta iniciativa académica.

Invitamos a nuestros lectores a sumergirse en este volumen, convencidos de que los aportes aquí presentados serán una fuente de inspiración y una herramienta útil para afrontar los desafíos que impone un mundo en permanente cambio. Nuestra aspiración es que esta edición continúe consolidándose como un espacio de referencia para el diálogo académico y profesional en el ámbito de la gestión de operaciones industriales.

Con gratitud y compromiso, les damos la más cordial bienvenida a esta nueva entrega, en la que renovamos nuestra invitación a seguir construyendo juntos el conocimiento que impulsa la innovación y la excelencia.

Comité Editorial
Julio, 2025

MEJORA EN LA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE INTERNO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ISO 9001:2015

PGS. 09 - 20

Autores

José Cabrera Huamán
Luis Ezeta Azabache
Johan Rodríguez Paredes
María Valera Vásquez

IMPACTO DEL WACC EN LA RENTABILIDAD ECONÓMICA DE UNA EMPRESA DE OBRAS DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PGS. 21 - 33

Autores

Luis Fernando Gutiérrez Kong
Robin Fernando Castillo Sánchez
Dulce Geraldine Chávez Padilla
Daniel Josué Tello Alvarado
Roger Jesús Vargas Ponce



TABLA DE



CONTENIDOS

APLICACIONES DE LA FABRICACIÓN ADITIVA EN EL CAMPO DE LA MEDICINA (2010 -2025)

PGS. 34 - 47

Autores

Fernando Olivert Pantoja Payajo
Joseph Luis Rodríguez Bermúdez
Edinson Andy Terrones Rosas
Ronan Wilfredo Ventura Guanilo

TECNOLOGÍAS DE BIORREMEDIACIÓN FRENTE A MÉTODOS TRADICIONALES PARA MANEJAR LOS TRATAMIENTOS DE RESIDUOS INDUSTRIALES DE PAÍSES EN DESARROLLO (2005 – 2025)

PGS. 48 - 59

Autores

Marcelo Alexis Fabian Cerna
Esmith Alexander Jimenes Segura
Juan José Motta Fukomoto
Jeshua Sean Manuel Obeso
Tantapoma
Oviedo Hugo Roldan Qusipe

IMPROVEMENT OF INTERNAL CUSTOMER SATISFACTION THROUGH IMPLEMENTATION OF THE ISO 9001:2015 SYSTEM

PGS. 09 - 20

Authors

José Cabrera Huamán
Luis Ezeta Azabache
Johan Rodríguez Paredes
María Valera Vásquez

IMPACT OF THE WACC ON THE ECONOMIC PROFITABILITY OF AN ENGINEERING AND ARCHITECTURAL WORKS COMPANY

PGS. 21 - 33

Authors

Luis Fernando Gutiérrez Kong
Robin Fernando Castillo Sánchez
Dulce Geraldine Chávez Padilla
Daniel Josué Tello Alvarado
Roger Jesús Vargas Ponce



TABLE OF



CONTENTS

IMPACT OF ADDITIVE MANUFACTURING IN THE FIELD OF MEDICINE (2010 - 2025)

PGS. 34 - 47

Authors

Fernando Olivert Pantoja Payajo
Joseph Luis Rodríguez Bermúdez
Edinson Andy Terrones Rosas
Ronan Wilfredo Ventura Guanilo

BIOREMEDIATION TECHNOLOGIES VERSUS TRADITIONAL METHODS FOR MANAGING INDUSTRIAL WASTE TREATMENT IN DEVELOPING COUNTRIES (2005 – 2025)

PGS. 48 - 59

Authors

Marcelo Alexis Fabian Cerna
Esmith Alexander Jimenes Segura
Juan José Motta Fukomoto
Jeshua Sean Manuel Obeso
Tantapoma
Oviedo Hugo Roldan Qusipe



GESTIÓN DE OPERACIONES INDUSTRIALES

Sitio Web: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/RINGIND>

Facultad de Ingeniería
Ingeniería Industrial



Universidad Nacional de Trujillo

Esta obra está publicada bajo una licencia [CC BY 4.0 DEED](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



Impacto del WACC en la Rentabilidad Económica de una Empresa de Obras de Ingeniería y Arquitectura

Impact of the WACC on the Economic Profitability of an Engineering and Architectural Works Company

Luis Fernando Gutiérrez Kong^{1*} , Robin Fernando Castillo Sánchez¹ , Dulce Geraldine Chávez Padilla¹ , Daniel Josué Tello Alvarado¹ , Roger Jesús Vargas Ponce¹ 

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

*Autor de correspondencia: t1011300421@unitru.edu.pe (L. Gutiérrez)

Fecha de recepción: 16/03/2025

Fecha de aceptación: 30/06/2025

RESUMEN

La investigación evaluó cómo el WACC influye en la generación de valor económico dentro de una empresa peruana del sector de obras de ingeniería y arquitectura. Para ello, se tomó como referencia datos financieros del periodo 2019-2024 y se usó el método de simulación Montecarlo como herramienta para realizar el análisis. Los datos obtenidos revelaron que, cuando el ROIC tiene un valor que sobrepasa al del WACC, se obtiene un EVA positivo. No obstante, si se presenta una estructura financiera con elevado apalancamiento disminuyen los márgenes de rentabilidad operativa. Se identificó una relación inversa y estadísticamente significativa entre el WACC y el EVA, siendo el NOPAT la variable con mayor impacto en la creación de valor económico. En síntesis, se establece que reducir el WACC y consolidar el ROIC son estrategias esenciales para alcanzar una rentabilidad sostenida en organizaciones con alta concentración de activos productivos.

Palabras Clave: WACC, Metodología CAPM, Valor Económico Agregado, Dirección de Proyectos.

ABSTRACT

The research evaluated how the WACC influences the generation of economic value within a Peruvian company in the engineering and architectural works sector. For this purpose, financial data for the period 2019-2024 were taken as a reference, and it was considered viable to use the Monte Carlo simulation method as an analysis tool. The data obtained revealed that when the ROIC has a value that exceeds that of the WACC, a positive EVA is obtained. However, if there is a highly leveraged financial structure, operating profitability margins are reduced. An inverse and statistically significant relationship was identified between WACC and EVA, with NOPAT being the variable with the greatest impact on the creation of economic value. In summary, it is established that the reduction of WACC and the consolidation of ROIC are essential strategies to achieve sustained profitability in organizations with a high concentration of productive assets.

Keyword: WACC, CAPM Methodology, Economic Value Added, Project Management.

1. Introducción

En el contexto actual, las empresas enfrentan un entorno financiero cada vez más desafiante, donde no basta con registrar utilidades contables; lo fundamental es determinar si están generando valor real para los accionistas. Herramientas tradicionales como las ratios financieras han demostrado limitaciones, ya que no incorporan adecuadamente el costo del capital ni los riesgos asociados a las decisiones estratégicas, dejando de lado el valor económico creado o destruido en el proceso (Amorocho et al., 2024). Sin embargo, en muchas empresas, especialmente aquellas que operan en sectores intensivos en capital, la estructura de financiamiento sigue siendo una decisión compleja, sujeta a tensiones entre la necesidad de crecer, mantener liquidez y sostener la rentabilidad (Amorocho et al., 2024). A ello se suma la dificultad de proyectar flujos futuros con precisión, lo que hace que la valoración empresarial dependa de supuestos sensibles al entorno económico y sectorial (Ruiz Molina & Carnevali García, 2023). En este escenario, se vuelve crucial adoptar mecanismos que permitan vincular el costo de financiamiento con la creación de valor, a fin de evitar que decisiones aparentemente rentables generen pérdidas ocultas a nivel económico.

Una industria crítica es la de construcción, ya que representa un componente estratégico en las economías en desarrollo por su capacidad para dinamizar el empleo, estimular el consumo de materias primas y mejorar la infraestructura nacional. Su importancia no solo radica en el aporte al producto bruto interno, sino en su fuerte articulación con sectores industriales, logísticos y energéticos. En muchos países latinoamericanos, este sector ha sido impulsado mediante programas públicos y asociaciones público-privadas, que buscan cerrar brechas históricas en infraestructura vial, transporte, vivienda y saneamiento (Acebedo et al., 2025). Sin embargo, operar en este rubro implica enfrentar una serie de desafíos financieros y operativos: elevados requerimientos de capital, exposición a riesgos técnicos, cambios normativos, sobrecostos, problemas logísticos y, en algunos casos, escándalos de corrupción que afectan la viabilidad de los proyectos (Acebedo et al., 2025). Estas condiciones vuelven imprescindibles evaluar no solo la rentabilidad contable de las empresas, sino su capacidad real para generar valor económico en el tiempo. A pesar de su importancia, aún existen pocos estudios centrados en el desempeño financiero de constructoras de obras civiles desde un enfoque basado en valor, lo cual limita la posibilidad de identificar si sus decisiones estratégicas de financiamiento están creando riqueza o erosionando el capital invertido.

Tudose et al. (2021) menciona que el EVA puede incrementarse incluso en contextos de crecimiento del capital invertido, siempre que el crecimiento del beneficio operativo neto después de impuestos (NOPAT) sea superior al ritmo de aumento en la remuneración exigida por los financiadores. Esta relación evidencia que el valor económico agregado está influido tanto por la evolución del NOPAT como por el costo de capital, destacando la importancia de analizar su interacción. Aunque el estudio no calcula directamente el WACC, los resultados permiten inferir que una menor presión por parte del costo de financiamiento favorece la creación de valor. Asimismo, se concluye que el EVA refleja de manera más precisa el desempeño económico real de la empresa en comparación con los indicadores contables tradicionales, siendo especialmente útil para conectar decisiones estratégicas y financieras en sectores industriales complejos.

Rahman (2022) encontró que la relación entre el EVA y sus factores determinantes presenta una baja asociación lineal, lo que indica que la creación de valor económico en las empresas no depende exclusivamente de un solo elemento financiero, sino de la interacción conjunta entre variables endógenas y exógenas. Aunque el costo de capital no

fue evaluado directamente, los resultados muestran que el apalancamiento financiero tuvo significancia estadística en varios modelos, lo cual sugiere que la estructura de financiamiento, en particular el peso relativo de la deuda frente al patrimonio, incide en la generación de valor. No obstante, el estudio advierte que una estrategia centrada únicamente en reducir el costo de capital mediante endeudamiento puede comprometer la sostenibilidad empresarial, por lo que enfatiza la necesidad de enfocarse en mejoras estructurales que incrementen la rentabilidad operativa.

En esa línea, Roque et al. (2023) directamente la relación entre el WACC y la rentabilidad financiera (medida a través del ROA), encontrando una correlación negativa y significativa: a mayor costo promedio ponderado de capital, menor rentabilidad. Este hallazgo respalda la idea de que el WACC actúa como una barrera para la creación de valor, y que su reducción es un factor crítico en la mejora del desempeño financiero, sobre todo en sectores con acceso limitado a capital propio y con alto riesgo de estrés financiero.

Es importante tener también en cuenta que toda inversión conlleva un nivel de riesgo, incluso las inversiones más seguras. Por ello, existe una fuerte tendencia entre la mayoría de los inversionistas individuales a tener una baja tolerancia al riesgo.

Debido a que, si cometen un error al invertir, pueden quedar expuestos a grandes pérdidas económicas en cualquier momento, o incluso enfrentar la quiebra si la elección resulta ser incorrecta (Wang, 2023).

Por ello, los inversionistas suelen basarse en los indicadores financieros como el WACC y el EVA. Según Clark et al. (2023), el WACC se calcula como la ponderación del coste de los fondos propios y el coste de la deuda, lo que representa cuánto porcentaje de la empresa se capitaliza con fondos propios y qué porcentaje se capitaliza con deuda.

Sin embargo, la determinación del WACC suele dejar al analista con la impresión de que no se han incorporado todos los riesgos asociados al proyecto. Naturalmente, a pesar de que se incluye una prima de riesgo de mercado, no se tiene en cuenta ningún riesgo técnico o tecnoeconómico en el WACC, que puede ser el resultado correcto, pero a menudo no es el resultado o la tasa de descuento final en la que se confía y se utiliza (Lilford et al., 2018).

Como respuesta a ello, se utiliza el EVA como un indicador más confiable, ya que evalúa el desempeño de una empresa y su gestión a través de la idea de que un negocio sólo es rentable cuando crea riqueza y retornos para los accionistas, por tal razón, desde el punto de vista competitivo.

Cuando se trata de entender la rentabilidad de las acciones, el EVA supera a las medidas contables. Las organizaciones con mayores derechos de los accionistas tienen una mayor tasa de crecimiento del valor y menores gastos de capital, lo que implica que son más sostenibles (Li et al., 2023).

Según (Xiao & Zhou, 2024) el uso de instrumentos financieros no debe ser rígido debido a que un solo instrumento puede no tener en cuenta diversos problemas en el proceso de aplicación al principio de su diseño, por lo que habrá diversos defectos. En algunos casos, no puede utilizarse con normalidad dentro de su ámbito de aplicación, pero tras una investigación y aplicación continuas, puede mejorarse continuamente introduciendo diversos conceptos nuevos.

2. Metodología

Para el propósito de analizar la rentabilidad económica de las empresas de obras de ingeniería y arquitectura en base a la incidencia del costo promedio ponderado del capital (WACC) se optó por un enfoque cuantitativo de investigación. Con ello, se logró un análisis de forma objetiva los elementos financieros, especialmente del indicador valor económico agregado (EVA). El diseño del estudio es no experimental, longitudinal y de tipo correlacional, puesto que no se manipulan variables, sino que se evalúa el comportamiento de los indicadores financieros en un periodo de tiempo específico. De acuerdo con Bennett (2019), afirma que este tipo de diseño permite la fácil detección de regularidades y tendencias en la información recopilada.

La empresa escogida pertenece al sector de obras civiles y remodelaciones, por tal razón representa la unidad de análisis seleccionada para el estudio. Los estados financieros de la empresa, como fuente principal para la investigación, se analizaron del periodo 2014 hasta el 2019.

Para el cálculo del WACC se calculó usando la siguiente fórmula

$$WACC = K_d \left(\frac{D}{E + D} \right) (1 - t) + \left(K_e \left(\frac{D}{E + D} \right) \right)$$

Donde se integra el K_d , el cual es el costo de la deuda, con el costo de capital propio (K_e). Además, t representa la tasa impositiva aplicable. Considerando las investigaciones de Alarcón Armenteros & Lall Boodhoo (2007), la utilización del WACC como valor base de rentabilidad permite determinar si una organización puede generar un valor mayor al costo asociado a sus fuentes de financiamiento.

De la misma forma, permite identificar la forma en cómo influyen tanto el apalancamiento financiero como las responsabilidades tributarias en las decisiones de inversión corporativa, particularmente en industrias caracterizadas por elevados niveles de riesgo. (Almeida & Eid, 2015).

Por otro lado, el EVA fue calculado con la siguiente ecuación:

$$EVA = NOPAT - (WACC \times CI)$$

En esta fórmula, Tudose et al. (2021) según es esencial el NOPAT ya que es un indicador que expresa la habilidad de la organización para generar flujo de caja proveniente de sus actividades operativas habituales, evidenciando los riesgos inherentes a su gestión operativa, sin considerar los efectos derivados de ingresos financieros. NOPAT es un indicador que se complementa con las variables contables como ROA y ROE, dado que permite una evaluación completa del EVA de una empresa (Sharma & Kumar, 2012).

Con el fin de profundizar la comprensión de la relación entre el costo promedio ponderado del capital y el indicador valor económico agregado, se emplearon técnicas de análisis de tendencias y de correlación. Este tipo de enfoque ha sido replicado en estudios recientes, los cuales respaldan la eficacia del EVA como una herramienta confiable para analizar el rendimiento financiero en organizaciones con altos niveles de inversión en capital.

3. Resultados y discusión

En el análisis que se realizó a la empresa seleccionada entre los años 2019 a 2024, tuvo la finalidad de hallar el impacto que posee el WACC sobre el EVA.

Para ello se hizo uso de los datos contables y financieros de la organización para evaluar la evolución de los indicadores antes mencionados durante ese tiempo. Para ello se muestran la siguiente tabla con los valores de ROA, ROE, ROIC, y el costo capital propio (Ke) con el fin de evaluar la evolución del desempeño que tuvo la empresa financieramente hablando.

Tabla 1
Indicadores financieros del proyecto

Año	Deuda/ Capital	Tasa de Impuestos	Tasa de interés	ROA	ROE	Ke	WACC	ROIC	EVA
2019	1.58	30.02%	9.41%	19.74%	50.90%	23.02%	12.96%	26.52%	S/ 398 554.30
2020	0.5	28.08%	12.67%	33.19%	49.92%	16.67%	14.14%	43.62%	S/ 743 248.48
2021	0.74	26.16%	7.99%	27.80%	48.46%	18.35%	13.04%	35.68%	S/ 581 168.79
2022	0.5	29.54%	24.35%	44.83%	67.20%	16.01%	16.39%	27.70%	S/ 186 931.42
2023	3.77	0%	23.83%	- 107.76%	298.99%	-21.46%	40.15%	- 84.87%	-S/ 1 730 801.53
2024	14.03	0%	19.46%	8.28%	124.38%	140.12%	27.49%	11.51%	-S/ 435 665.93

En el cual se observa una tendencia fluctuante por parte del WACC. Empezando por el 2019, donde su valor fue de 12.96% y posteriormente disminuyendo hasta el año 2022 donde obtuvo el punto más bajo con 3.36%, lo cual provocó un entorno favorable para generar valor, ya que el EVA alcanzó su punto más alto ese año con un valor de S/ 931 168.79. En los años 2023 y 2024 sucedió lo contrario, pues el valor del WACC volvió a aumentar logrando volver al EVA en negativo destacando un deterioro significativo en el año 2018 con un valor de -S/ 1 730 801.53. Y lo sucedido se puede observar en la investigación hecha por Lai (2017) dan a conocer que una buena implementación de una gestión integral de riesgo puede mejorar el EVA eventualmente, al disminuir el WACC y aumentar así el ROIC y el NOPAT.

De igual manera se observa que todos los años donde el ROIC fue mayor que el WACC el valor del EVA fue siempre positivo, caso contrario a lo sucedido en los dos últimos años. Tal y como se menciona en la investigación hecha por Mauboussin Michael (2024), donde se menciona que para generar un rendimiento económico el valor del ROIC debe ser superior al del WACC para de esta manera generar valor.

Por otro lado, el ROE presenta una gran caída en el año 2023 con un valor de -107.67%, lo cual indica una gran pérdida de valor. El ROIC también tuvo su nivel más bajo con un valor de -84.87% dando a conocer su ineficiencia en el uso del capital para generar valor. En un estudio hecho por Nasimi (2016) demuestra que tener una alta dependencia de la deuda se correlaciona de forma negativa con el ROA y el ROIC y que las organizaciones que poseen una eficiencia baja respecto al uso del capital tienen retornos negativos.

El Ke, el costo del capital propio, se mantuvo estable hasta el año 2023, donde alcanzó un valor negativo de -21.46%. Lo cual indica que varios cambios en la rentabilidad o variaciones en el apalancamiento financiero generaron el desinterés de los accionistas por invertir, afectando en el valor de la organización. Según Khiari & Djaouahdou (2012), esto se debe al valor más alto que posee el costo de capital respecto al retorno, por lo cual el valor que se genera es negativo, por lo tanto, al caer la rentabilidad el Ke puede obtener un valor tan bajo.

Ahora se muestra la tabla 2 donde se encuentran los valores de los principales indicadores financieros de la empresa. El EVA (Valor económico agregado), el NOPAT que viene a ser el beneficio neto de explotación después de los impuestos y por último el EBIT también llamado como beneficio antes de intereses e impuestos.

Tabla 2
Indicadores de EVA, EBIT, NOPAT

Año	EVA	EBIT	NOPAT
2019	S/ 398 554.30	S/ 860 203.00	S/ 779 268.13
2020	S/ 743 248.48	S/ 1 259 190.00	S/ 1 099 676.90
2021	S/ 581 168.79	S/ 995 522.00	S/ 916 001.28
2022	S/ 186 931.42	S/ 801 190.00	S/ 606 073.03
2023	S/ 1 730 801.53	S/ -1 542 509.00	S/ -1 174 937.35
2024	S/ 435 665.93	S/ 389 573.00	S/ 313 760.53

Desde el año 2019 a 2024 se ve un progreso positivo de los indicadores, sobretudo en el año 2015 se puede observar que tanto el EBIT como el NOPAT obtienen los valores más altos con valores de S/ 1 259 190.00 y S/ 1 099 676.90 respectivamente, convirtiéndose de esta manera en el año más rentable, lo que indica una buena combinación de ingresos y control de gastos.

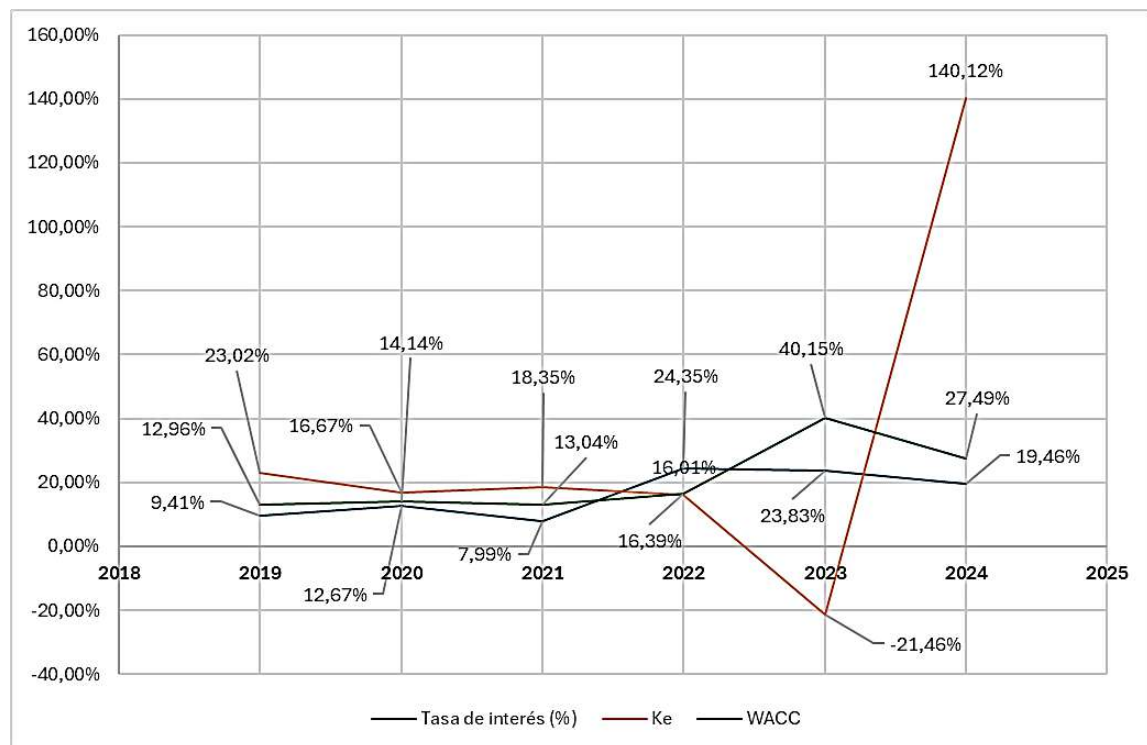


Figura 1. Evolución anual del costo capital.

Sin embargo, a partir del 2023, se puede ver una caída muy significativa donde ambos obtienen los valores negativos de -S/ 1 542 509.00 y -S/ 1 174 937.35 respectivamente, convirtiéndose en el año punto de quiebre. Esto no solo indica que la empresa ya no generaba utilidades, sino que obtuvo pérdidas operativas sin tener tiempo para considerar el efecto de la deuda. Se puede asociar como causa principal al sobreendeudamiento como lo reflejaba el indicador de deuda/capital a la misma vez que el incremento que obtuvo la tasa de interés, lo cual debió elevar los gastos financieros a cantidades muy altas. Lo sucedido se sustenta perfectamente con lo investigado por Sánchez (2002), en su análisis del apalancamiento, donde menciona que el apalancamiento financiero al superar el costo de la deuda se convierte en una fuente de decaimiento para la empresa, ya que el estudio

explica que un apalancamiento financiero sólo brinda beneficios cuando el rendimiento operativo es mayor a los intereses. Por lo cual la caída drástica en los años posteriores al 2022 indica el aumento de la deuda y de la tasa de interés.

En la Figura 1 se observa que, mientras el costo de la deuda después de impuestos varía moderadamente durante el periodo 2019-2024, tanto el costo de los fondos propios (Ke) como el costo promedio ponderado de capital (WACC) tienen un comportamiento oscilante y opuesto. Esto sugiere que, durante el periodo antes mencionado, la empresa no contaba con una estructura de capital adecuada, lo que llevó a que, en 2022, la tasa de interés superara tanto al WACC como al Ke, provocando una disminución en el valor generado.

En la Figura 2 se observa que, aunque la empresa aparenta ser rentable, otros indicadores como el ROA, el ROIC y, en especial, el EVA, sugieren que no está generando valor económico real.

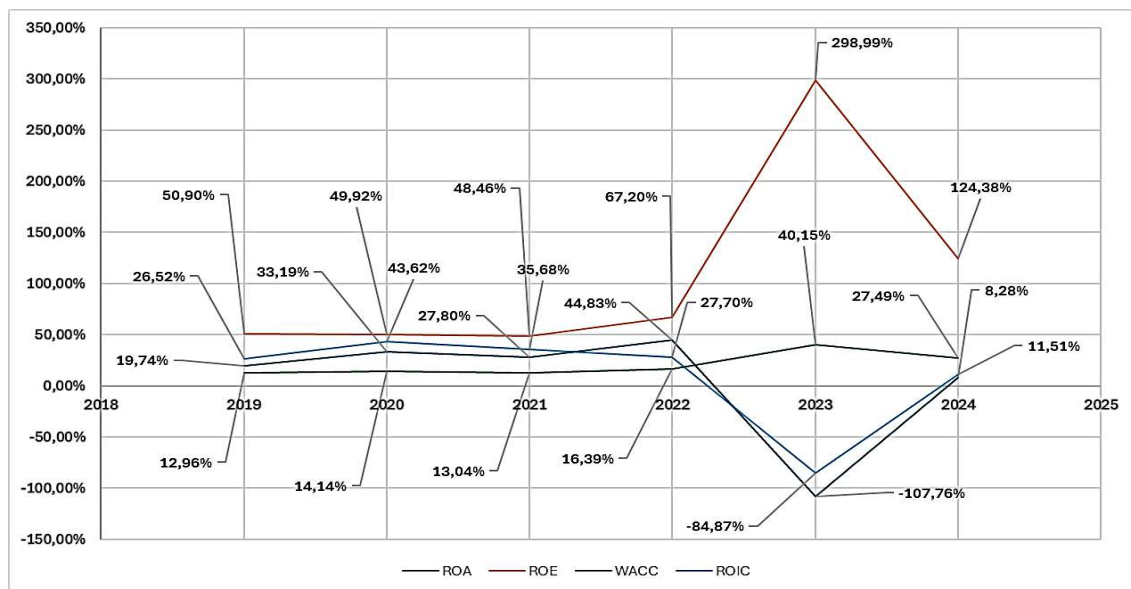


Figura 2. Evolución anual del costo capital respecto a Índices de rentabilidad.

La figura 3 muestra que el comportamiento del valor económico agregado (EVA) está vinculado con la utilidad operativa (EBIT) y la utilidad neta operativa después de Impuestos (NOPAT). Además, se observa que el EVA ha ido disminuyendo.

Los primeros resultados tuvieron como base al WACC para analizar los diferentes indicadores de rentabilidad y el impacto en el valor económico, pero para estos últimos resultados se centró más en el EVA para reflejar la eficiencia de la empresa en general valor, este estudio concuerda con Bajus (2023), que afirma que el EVA es un método más esencial para expresar una evaluación precisa sobre el desempeño de una organización, algo que solo aplicando estados financieros tradicionales no pueden reflejar, lo que conlleva a generar mejores estrategias de acción para incrementar la rentabilidad.

Correlación entre el WACC y el EVA

En este punto se realizó un análisis sobre el que tanto puede impactar el coste promedio ponderado de capital con la generación de valor económico en la empresa.

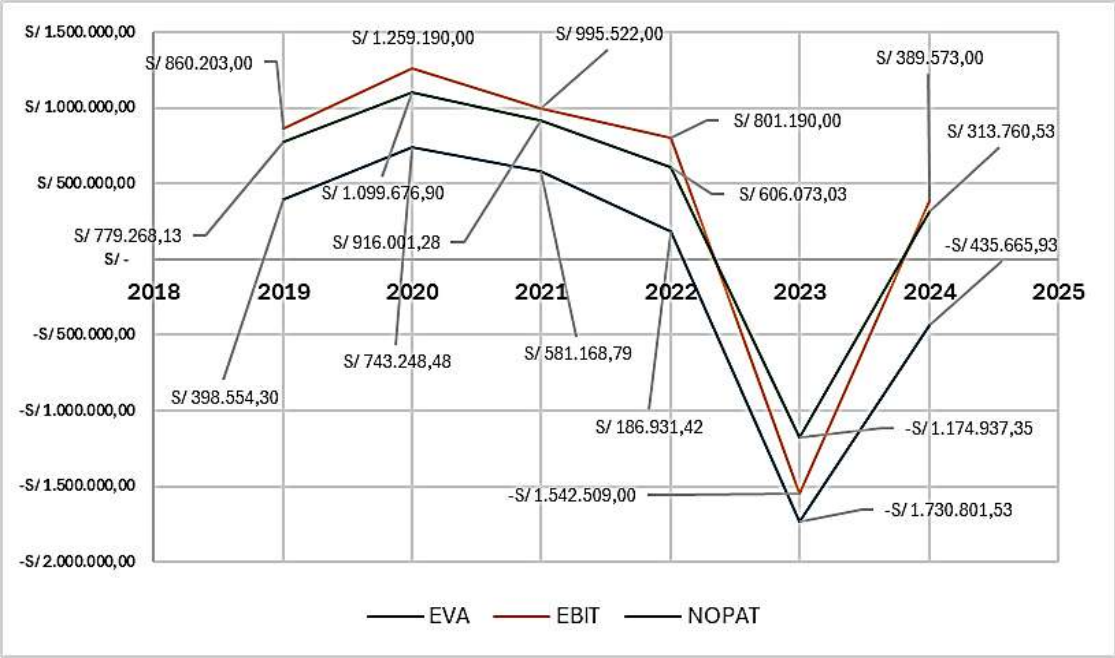


Figura 3. Evolución anual del EVA

Para empezar la evaluación de si el costo medio ponderado de capital puede incrementar el valor económico agregado se estableció las siguientes hipótesis:

- H0: No se evidencia una relación importante entre el Costo Promedio Ponderado de Capital y la creación de valor económico en la empresa seleccionada durante el período 2019-2024.
- H1: Se identificó una relación significativa entre el Costo Promedio Ponderado de Capital y la generación de valor económico en la empresa seleccionada durante el periodo 2019-2024.

Una vez establecidas las hipótesis se determinó la correlación de Pearson entre los valores del WACC y el EVA usando un nivel de significancia del 5%.

Tabla 3
Correlación entre el WACC y el EVA

		WACC	EVA
		N	6
EVA	Correlación de Pearson	-,982**	1
	Sig.(unilateral)	0.000234	
	N	6	6
WACC	Correlación de Pearson	1	-,982**
	Sig.(unilateral)		0.000234
	N	6	6

Se obtuvo que el valor $p=0,0002340733$, valor inferior 0.01, por lo que la hipótesis nula es rechazada y se asigna una relación significativa entre el WACC y el EVA con una relación inversamente proporcional, lo que puede significar que si la empresa no controla bien su WACC podría destruir su valor económico.

Este resultado es consistente con los resultados obtenidos por Rahman (2022) donde también analizó la correlación entre un indicador de rentabilidad como el ROA con el WACC concluyendo que existe una relación negativa entre ambas con una significancia media, esto debido a que el ROA se centra más en la relación entre beneficios y activos totales, pero el EVA al ser un indicador de rentabilidad que considera el costo de capital

tendría una relación inversa pero significativa con el WACC, o a lo mucho una relación moderada.

Un artículo que complementa bien estos resultados es de Carney et al. (2024) donde se evaluó la generación de valor económico mediante el análisis del WACC, el ROIC y el EVA, haciendo un estudio internacional sobre las consecuencias de un aumento del costo de capital propio debido a un tema geopolítico, afectando negativamente la creación de valor, la tesis mostró que cuando el ROIC supera al WACC, la empresa genera valor positivo ($EVA > 0$). En este sentido, ambos estudios concluyen que cualquier factor que eleve el WACC (como un entorno institucional débil o riesgos externos) obliga a la empresa a mejorar su rentabilidad operacional (ROIC) para seguir generando valor, mostrando nuevamente la relación inversa y significativa que existe entre el EVA y el WACC. Dando como lección la siguiente afirmación, que la estabilidad institucional y la correcta gestión financiera son elementos clave para sostener una estructura de capital eficiente y generar valor en contextos económicos complejos.

Método de Montecarlo

En este punto de los resultados se utilizó el método de Montecarlo para establecer la hipótesis como variables aleatorias utilizando los datos del WACC, ROIC y NOPAT en los 6 años que se está evaluando, con el fin de profundizar entre la relación del WACC y el EVA en la empresa. Se creó un modelo probabilístico con 5000 iteraciones para realizar un análisis de sensibilidad, para descubrir qué variables tienen un efecto en la generación de valor en la empresa seleccionada.

Tabla 4
Datos para el análisis de sensibilidad

AÑO	Capital invertido	WACC	ROIC	NOPAT (a x Tasa de interés)
2019	2,397,897.00	12.96%	26.52%	779,268.13
2020	2,520,873.00	14.14%	43.62%	1,099,676.90
2021	2,567,611.00	13.04%	35.68%	916,001.28
2022	2,556,956.00	16.39%	23.70%	606,073.03
2023	1,384,331.00	40.15%	40.15%	-1,174,937.35
2024	2,726,208.00	27.49%	27.49%	313,760.53

Los datos de la tabla anterior se definieron como los supuestos y se utilizó el EVA como el dato central de comparación para analizar cuál de estas variables influyen más en la creación o destrucción de valor.

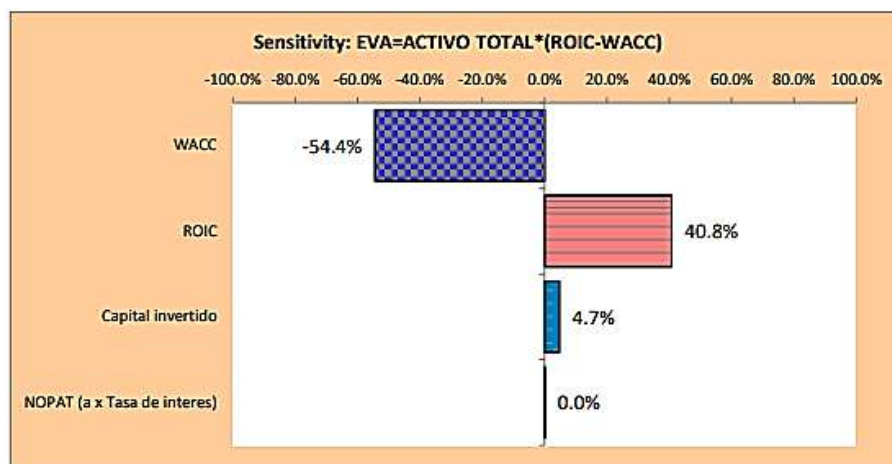


Figura 4. Sensibilidad del EVA con WACC y ROIC

Aplicando el análisis de sensibilidad para el EVA, se determinó que influye de manera negativa en la rentabilidad con un valor de -54.4%, lo cual indica que un aumento en este indicador reduce de manera significativa el EVA. En contraste, el Retorno sobre el Capital Invertido (ROIC) mostró una influencia positiva de 40.8%, lo que representa una mayor rentabilidad sobre el capital y genera un impacto favorable en la creación de valor (Yusifzada, 2025).

Además, también se halló el valor del EVA con una fórmula alternativa con la cual se obtuvo que el NOPAT o beneficio operativo neto después de impuestos posee una buena influencia con un valor de 77.3% lo cual provoca que sea considerada la variable más importante y determinante dentro del cálculo del valor económico agregado. Por otro lado, se puede observar que el WACC mantuvo su influencia negativa, aunque en esta ocasión es algo menor en comparación al obtenido por la anterior fórmula, con un valor de -19.2%, dándonos a conocer que es menos perjudicial siempre y cuando se obtenga un NOPAT más alto.

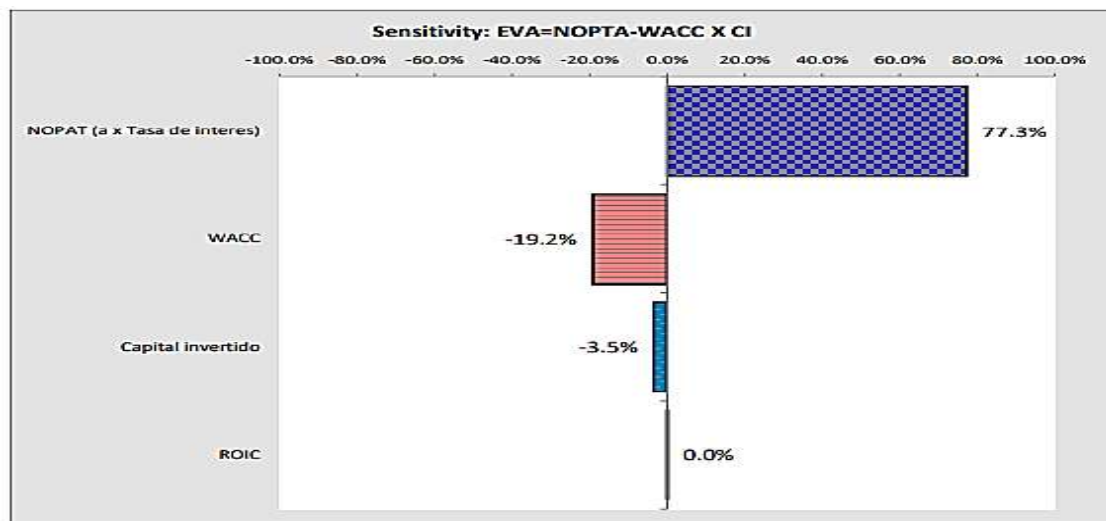


Figura 5. Sensibilidad del EVA con WACC y NOPAT.

Al realizar un análisis de los resultados obtenidos por la aplicación de ambas fórmulas pertenecientes al EVA se pudo observar las diferencias de las variables necesarias para la obtención de este entre diferentes años. Durante los años 2020 y 2021 se observa que la empresa obtuvo un ROIC superior al WACC con valores de 43.62% y 14.14% respectivamente en el primer año y de 35.68 % con 13.04% en el 2016, lo cual generó que durante ese tiempo exista una mejora en el valor económico. Sin embargo, en los años posteriores, 2023 y 2024, el WACC aumentó, igualó e incluso superó al valor del ROIC obteniendo como resultado una situación de disminución de valor económico, lo cual se puede ver reflejado en el EVA negativo o apenas positivo.

4. Conclusiones

La investigación que se ha realizado permitió evidenciar que el WACC influye de manera significativa y adversa en la generación de valor económico en empresas dedicadas a obras de ingeniería y arquitectura. A partir del estudio financiero aplicado a la empresa seleccionada, se identificó que cuando el ROIC supera al WACC, se genera EVA positivo. En caso contrario, cuando el WACC transgrede al ROIC, se produce una disminución de valor.

Desde el punto de vista de la gestión financiera, se señala que el WACC puede volverse en una limitante para la sostenibilidad económica, especialmente cuando se trabaja con estructuras de capital con niveles elevados de endeudamiento. En dichas situaciones, los efectos del apalancamiento negativo afectan directamente la rentabilidad operativa y comprometen el valor generado.

La utilización del método Montecarlo facilitó analizar a mayor detalle el comportamiento del EVA ante variaciones en factores clave. Los resultados evidencian que el NOPAT tiene el mayor peso en la generación de valor, seguido por el ROIC. Por otro lado, el WACC mantuvo una correlación negativa, que se acentúa en función del balance entre riesgo financiero y desempeño operativo.

Estos resultados muestran la utilidad del EVA como métrica integral del rendimiento financiero, puesto que incorpora el costo del capital en su estructura financiera. Para empresas con un uso intensivo de activos fijos, la optimización del WACC y el fortalecimiento del ROIC resultan acciones fundamentales para garantizar una rentabilidad sostenida y real.

Se recomienda expandir el alcance de la investigación a otras organizaciones del mismo sector, incluyendo variables del entorno macroeconómico e institucional que afecten la estructura financiera y la creación de valor a largo plazo.

5. Referencias Bibliográficas

- Alarcón Armenteros, A. D., & Lall Boodhoo, S. (2007). Retos de la dirección. *Retos de la Dirección*, 18(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-91552024000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Amorocho, A. A., Lozano, J. C. A., Navarro, R. E. A., & Delgado, A. del P. G. (2024). Evaluación de modelos financieros desde la perspectiva de la estructura de capital y la generación de tesorería: un aporte a la contabilidad de gestión. *Journal of Management & Business Studies*, 6(2), 1–17. <https://doi.org/10.32457/JMABS.V6I2.2687>
- Bajus, R. (2023). The impact of the application of the economic value-added method in the food company. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 17, 972–985. <https://doi.org/10.5219/1910>
- Bennett, A. (2019). *An Empirical Longitudinal Analysis of Agile Methods and Firm Financial Performance*. <https://www.researchgate.net/publication/346008508>
- Carney, R. W., El Ghoul, S., Guedhami, O., & Wang, H. (Helen). (2024). Geopolitical risk and the cost of capital in emerging economies. *Emerging Markets Review*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.ememar.2024.101149>
- Clark, B., Jones, J., & Malmquist, D. (2023). Leverage and the cost of capital for U.S. banks. *Journal of Banking & Finance*, 155, 107002. <https://doi.org/10.1016/J.JBANKFIN.2023.107002>
- Khiari, Z., & Djaouahdou, R. (2012). New trends in measuring financial performance: Economic Value – Added (EVA). *Algerian Institutions Performance Magazine*, 1(1), 177–191. <https://asjp.cerist.dz/en/article/4865>
- Lai, F.-W. (2017). Article in Global Business and Management Research. En *An International Journal*. <https://www.researchgate.net/publication/318129580>
- Li, J., Wang, X., Ahmad, S., Huang, X., & Khan, Y. A. (2023). Optimization of investment strategies through machine learning. *Heliyon*, 9(5), e16155. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16155>
- Lilford, E., Maybee, B., & Packey, D. (2018). Cost of capital and discount rates in cash flow valuations for resources projects. *Resources Policy*, 59, 525–531. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2018.09.008>

- Mauboussin Michael. (2024). *Counterpoint Global Insights Return on Invested Capital How to Calculate ROIC and Handle Common Issues*.
- Nasimi, A. N. (2016). Effect of Capital Structure on Firm Profitability (An Empirical Evidence from London, UK). *Global Journal of Management and Business Research*, 16(C4), 19–29. https://journalofbusiness.org/index.php/GJMBR/article/view/2026/2-Effect-of-Capital-Structure_html
- Rahman, F. (2022). Impact of WACC on Firm Profitability: Evidence from the Food and Allied Industry of Bangladesh. *European Journal of Business and Management Research*, 7(6), 89–92. <https://doi.org/10.24018/EJBMR.2022.7.6.1707>
- Roque, D. I., Carrero, A. C., & de la Oliva De Con, F. (2023). Medición de los factores que determinan la creación de valor en los sectores económicos colombianos: periodo 2016-2020. *Revista Finanzas y Política Económica*, 15(1), 213–244. <https://doi.org/10.14718/REVFINANZPOLITECON.V15.N1.2023.9>
- Ruiz Molina, O. E., & Carnevali García, J. L. (2023). Valoración a través del Flujo de Caja Descontado empleando el Costo Promedio Ponderado de Capital y el Valor Presente Ajustado, en Apple Inc *. *Gestión y Desarrollo Libre*, 6(12). <https://doi.org/10.18041/2539-3669/gestionlibre.12.2021.8714>
- Sharma, A. K., & Kumar, S. (2012). EVA VERSUS CONVENTIONAL PERFORMANCE MEASURES-EMPIRICAL EVIDENCE FROM INDIA. En *Proceedings of ASBBS* (Vol. 19).
- Tudose, M. B., Rusu, V. D., & Avasilcai, S. (2021). Performance Management for Growth: A Framework Based on EVA. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/jrfm14030102>
- Wang, Z. (2023). The Use of Beta Value, ROIC, WACC In Investment Risk Assessment for Constructive Industries in the US. *BCP Business & Management*, 39, 38–44. <https://doi.org/10.54691/BCPBM.V39I.3997>
- Xiao, C., & Zhou, W. (2024). WACC Analysis of Banks: Take JPMorgan Chase and Industrial and Commercial Bank of China as Examples. *Highlights in Business, Economics and Management*, 24, 2273–2277. <https://doi.org/10.54097/Z9PZE279>
- Yusifzada, L. (2025). How does subordinated debt affect the cost of capital for banks? *Pacific Basin Finance Journal*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.pacfin.2025.102714>



GESTIÓN DE OPERACIONES INDUSTRIALES

Sitio Web: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/RINGIND>

Facultad de Ingeniería
Ingeniería Industrial



Universidad Nacional de Trujillo

Esta obra está publicada bajo una licencia [CC BY 4.0 DEED](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



Mejora en la satisfacción del cliente interno mediante la implementación del sistema ISO 9001:2015

Improvement of internal customer satisfaction through implementation of the ISO 9001:2015 system

Jose Cabrera Huamán^{1*} , Luis Ezeta Azabache¹ , Johan Rodríguez Paredes¹ , María Valera Vasquez¹ 

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

*Autor de correspondencia: t1051300721@unitru.edu.pe (J. Cabrera)

Fecha de recepción: 21/03/2025

Fecha de aceptación: 30/06/2025

RESUMEN

El documento de investigación tuvo como propósito analizar el impacto de la implementación de un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC), el cual está establecido en la normativa ISO 9001:2015 respecto al nivel de conformidad del cliente interno en una organización consultora en calidad. Se encontraron múltiples puntos de mejora en la organización, siendo estas la carencia de procedimientos documentados, directrices de calidad y mecanismos para mensurar la satisfacción del cliente interno. Fue aplicada una encuesta (validada) que evaluó cinco dimensiones destacadas: la calidad en la práctica, calidad técnica, el valor del servicio, la confianza y las expectativas. Se puso en marcha la implementación del SGC a través una planificación estructurada, capacitación del personal, elaboración de documentación requerida y auditorías internas, esto dio como resultado un aumento promedio de los requisitos de 19,3% a 86,9%, al tiempo que la satisfacción del cliente interno pasó de 69,4% a 88,8%, reflejando así una mejora del 19,4%. Estos hallazgos demostraron que la normativa ISO 9001:2015 fortaleció los procedimientos internos, mejoró la percepción del servicio y promovió una cultura organizacional orientada a la calidad, además, este estudio confirmó que el liderazgo comprometido, la documentación sistemática y la gestión estratégica fueron factores que influyeron en el éxito del sistema.

Palabras Clave: Planeación estratégica, auditoría interna, evaluación del desempeño, gestión de la calidad, cultura organizacional.

ABSTRACT

The purpose of this article was to evaluate the impact of implementing a Quality Management System (QMS) based on the ISO 9001:2015 standard on internal customer satisfaction at a quality consulting firm. Multiple areas for improvement were identified within the organization, including a lack of documented procedures, quality guidelines, and mechanisms for measuring internal customer satisfaction. A validated survey was administered, assessing five key dimensions: quality in practice, technical quality, service value, trust, and expectations. The QMS was implemented through structured planning, staff training, preparation of required documentation, and internal audits. This resulted in an average increase in requirements from 19,3% to 86,9%, while internal customer satisfaction increased from 69,4% to 88,8%, reflecting a 19,4% improvement. These findings demonstrated that ISO 9001:2015 strengthened internal processes, improved service perception, and promoted a quality-oriented organizational culture. This study also confirmed that committed leadership, systematic documentation, and strategic management were factors that influenced the system's success.

Keyword: Strategic Planning, internal audit, performance evaluation, quality management, organizational culture.

1. Introducción

Durante el transcurso de los últimos años, diversos estudios han resaltado la necesidad de realizar un diagnóstico organizacional previo a la incorporación de estándares de calidad como la norma ISO 9001:2015, tal es el caso de (Gupta et al., 2023) quién identificó los principales factores a considerar, como el involucramiento directo de la alta gerencia, el fortalecimiento de las competencias del personal y la gestión adecuada del recurso humano. De manera complementaria, otra investigación propuso un modelo que permite medir el nivel de preparación de una organización respecto al acatamiento de los lineamientos definidos por la norma (Arslan et al., 2024). Por otro lado, se presentó un caso en una entidad que evidenció dificultades en aspectos relacionados con el trato al cliente y la administración al inicio de la implementación, situación cuál reveló la urgencia de conocer las posibles fallas antes de consolidar el sistema (Magana et al., 2020). Asimismo, (Andres-Jimenez et al., 2020) diseñó una herramienta tecnológica basada en sistemas expertos orientada a facilitar el diagnóstico temprano del cumplimiento de la norma, lo que contribuye a decisiones organizacionales más acertadas. De manera complementaria, (Vargas Badillo, 2023) dejó en evidencia de cómo la falta de motivación del personal o un liderazgo poco comprometido, que son aspectos profundamente humanos, pueden llevar al fracaso a la certificación ISO 9001:2015. Esto demuestra que no basta con cumplir procedimientos y formatos, sino que muchas veces también es necesario contar una cultura organizacional sólida y fuerte, ya que esto es clave para poder implementar de manera efectiva dicha norma, poniendo en el centro de atención tanto a los clientes internos como externos.

En este contexto, estudios resaltan que la gestión por procesos fortifica la calidad del servicio percibido por el cliente interno, tomando como ejemplo a un ministerio peruano, donde este modelo influyó en 61,3% la mejora de los servicios médico-legales, aumentando significativamente su calidad y oportunidad (Lino Gamarra et al., 2024). Asimismo, la literatura europea menciona que los sistemas de gestión de calidad tienen que involucrar de manera activa a los stakeholders internos para garantizar su sostenibilidad, esto fue demostrado mediante un análisis en 17 instituciones en Croacia, Estonia, Finlandia y Portugal, donde la participación del personal y docentes fue clave para la implementación efectiva de los estándares de calidad (Manatos & Huisman, 2020). Análogamente una investigación en universidades checas reportó más que más del 50% de sus instituciones legitimadas bajo ISO 9001: 2015 acrecentó el uso de su recurso humano y la satisfacción del personal tras esta implementación (Vykydal et al., 2020).

La norma ISO 9001:2015 propone una orientación centrada en procesos, el cual está orientado a la mejora continua y a la satisfacción del cliente, e integra componentes clave como el liderazgo, la gestión de riesgos y la alineación del sistema con la estrategia organizacional (Shang et al., 2022). Diferentes estudios demuestran que su implementación contribuye en gran medida a mejorar la calidad del servicio, reducir la variabilidad y fortalecer la fidelización del cliente (Ma et al., 2021). No obstante, su efectividad depende en un grado alto del compromiso por parte de la gerencia y de una adecuada gestión documental, como lo evidencian investigaciones realizadas en contextos institucionales de Irak, Marruecos e Indonesia (Arslan et al., 2024; Ouchama et al., 2023). Asimismo, un estudio realizado (Mercader Alarcón et al., 2023), muestra la efectividad de diseñar e implementar la norma ISO 9001:2015 en un área especializada en cuidados quirúrgicos intensivos, puesto que, en el transcurso del primer año de su ejecución, alcanzó un nivel de efectividad del 70% en sus indicadores de organizativos y en satisfacer necesidades mediante acciones correctivas.

Y es que, para que una organización tenga alta competitividad y gran rendimiento, es necesario usar una serie de herramientas, métodos y técnicas de calidad, que, justamente, son contemplados al implementar un sistema de gestión de la calidad (Gejdoš et al., 2023). Esta no solo es una tarea de los operarios de una organización, sino debe ser un fuerte compromiso de todos los actores clave involucrados, evaluando y solucionando desafíos y preocupaciones para obtener mejores prácticas de calidad en la organización. (Norberto Carneiro et al., 2024).

Estudios acerca de la implementación de la ISO 9001:2015 han mostrado mejoras considerables en la satisfacción de clientes internos y externos (De los Santos, 2025). También, según el estudio de (Milovanović et al., 2023), muestra que la satisfacción de los empleados aumentó en 18%, mientras que la productividad interna creció un 15% tras la certificación. De manera similar (Amaruddin et al., 2022) reportan un incremento del 20% en la eficiencia operativa de empresas que aplicaron el sistema de gestión de calidad, señalando que fue mayor en áreas relacionadas con la cultura de calidad. Estos resultados reflejan que la implementación de la ISO 9001:2015 no sólo mejora el desempeño operativo, sino la satisfacción y productividad de los empleados, lo que resalta la efectividad de la norma en las organizaciones.

Antes de la intervención, la empresa, unidad de análisis, que brinda consultorías en gestión de la calidad, presentaba diferentes problemas, por ejemplo: falta de protocolos, manuales, procedimientos documentados y, particularmente, la ausencia de un sistema que le permitiera medir la satisfacción del cliente. Esto provocaba que la calidad de sus servicios ofrecidos sea deficiente, tanto en términos de fidelización de los clientes como en su posicionamiento frente a la competencia.

Frente a esta situación, se planteó como objetivo general determinar el impacto que genera la implementación del sistema de gestión de calidad ISO 9001:2015 en dicha empresa. Para ello, también se plantearon diferentes objetivos específicos, los cuáles abarcaron el diagnóstico de la situación inicial, el diseño y la aplicación del sistema y la comparación de resultados antes y después de la ejecución.

Este estudio es de gran importancia, pues demuestra cómo este sistema de gestión de calidad puede ayudar a mejorar significativamente a los procesos y a la percepción del servicio por parte del cliente. La evidencia generada supone un valor tanto a la empresa como al sector, al mostrar una estrategia replicable basada en una norma internacionalmente reconocida.

2. Metodología

A. Tipo de Investigación

El estudio realizado corresponde a una investigación de carácter aplicado, ya que empleó conocimientos existentes acerca de la norma ISO 9001:2015 para solucionar un problema clave relacionado con la baja satisfacción del cliente interno.

Además, de acuerdo con la técnica de contrastación, corresponde a una técnica de investigación preexperimental, puesto que se manipuló la ejecución del modelo de gestión de calidad (variable independiente) y midió su efecto sobre el nivel de satisfacción del cliente interno (variable dependiente), mediante un pretest y postest.

B. Métodos y Técnicas de Investigación

La investigación se desarrolló bajo el método hipotético-deductivo, el cual inicia con el planteamiento de una hipótesis acerca del impacto de la implementación del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC), en la satisfacción del cliente interno, para luego someterla a contrastación mediante la recolección y análisis de datos.

Con respecto a las técnicas empleadas, se utilizaron tanto la observación directa de los procesos como la encuesta estructurada con personal clave de la empresa, aplicada en dos momentos (antes y después de la implementación), con el objetivo central de evaluar el grado de satisfacción del cliente interno. El instrumento de la encuesta; es decir, el cuestionario, fue sometido a validación por juicio de expertos, alcanzando así un elevado nivel de confianza, con una puntuación de confiabilidad interna alta (alfa de Cronbach=0,919).

C. Procedimientos

El desarrollo de la implementación del SGC en la organización siguió una secuencia lógica de etapas que permitieron incluir e integrar los requisitos de la norma ISO 9001:2015. Dicho proceso empezó con un diagnóstico profundo, identificando las necesidades de los clientes internos y estándares de calidad incumplidos, a través de una matriz de riesgos. Luego, se planificó la implementación del sistema, tomando en cuenta su alcance, extensión y los recursos necesarios. Posteriormente, en la ejecución del plan, se capacitó al personal, asegurando que comprendan e interioricen los principios de calidad y la importancia del SGC; para así proceder con la completa implementación del sistema, englobando la elaboración y práctica de la documentación de procesos y procedimientos requeridos por la norma.

Como parte del control y mejora, se efectuó una auditoría interna con el fin de asegurar el acatamiento de las exigencias normativas. Finalmente, se desarrolló una etapa de propuesta de mejora, a partir de los hallazgos encontrados en la auditoría, orientada a consolidar el funcionamiento del sistema y fomentar la mejora continua.

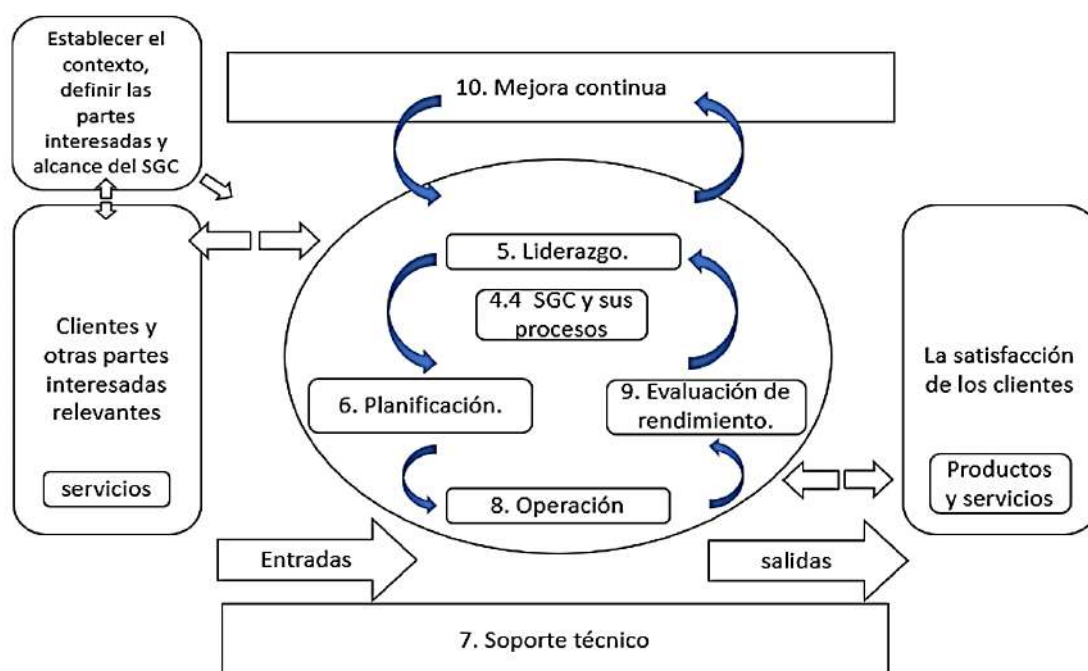


Figura 1. Esquema del SGC estructurado en procesos conforme a la Norma ISO 9001:2015. (Fuente: Adaptado de De León, Sánchez & González, 2023).

3. Resultados y discusión

A. Diagnóstico de la situación inicial del SGC basado en la ISO 9001:2015

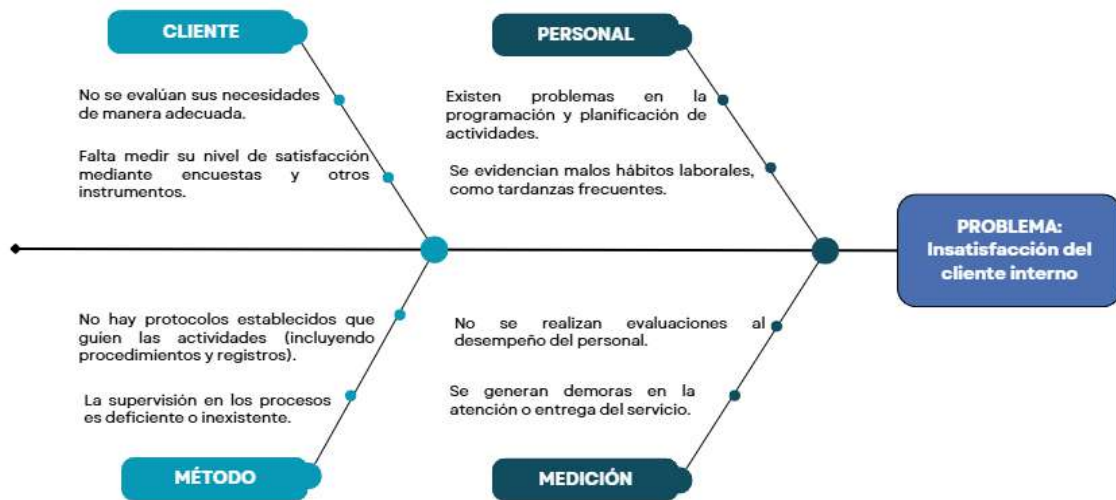


Figura 2. Diagrama de Ishikawa - Insatisfacción de los clientes.

Tabla 1

Identificación de requisitos para la implementación del SGC.

Item	Existe	Documentado
Misión	Sí	Sí
Visión	Sí	Sí
Política de calidad	No	No
Metas estratégicas de calidad	No	No
Manual de procesos y procedimientos	No	No
Documento que define roles y responsabilidades	Sí	Sí
Sistema de gestión de calidad	No	No
Proceso establecido para el manejo de documentos	No	No
Proceso para gestionar evidencias documentales	No	No
Retroalimentación del Cliente	Sí	No
Evaluación por parte de la alta gerencia	No	No
Programa de Auditorías Internas	No	No
Acciones Correctivas	No	No
Acciones Preventivas	No	No
Manual de Calidad	No	No
Provisión de los Recursos	Sí	No
Proceso de adquisición respaldado por documentación clara y verificable	No	Sí
Procedimiento de la prestación del servicio	Sí	No

El hallazgo del cumplimiento del 19,3% (Tabla 2), de los requerimientos establecidos por la norma ISO 9001:2015, mediante una evaluación preliminar, en la organización, coincide con lo expresado por (Magana et al., 2020), quienes afirman que numerosas organizaciones, al inicio del proceso de implementación de un SGC, presentan deficiencias tanto al nivel práctico como a nivel teórico-documentario. Esta afirmación se ve reflejada en el estudio de (Suhendris & Saroso, 2018) quienes realizaron un análisis

de brechas en una empresa que brinda servicios relacionados a maquinaria pesada, dónde evaluaron que tan preparada estaba para implementar la norma. Durante el estudio, notaron que faltaba documentación importante y había fallas en la parte operativa, lo cual dificultaba el cumplimiento de los requisitos. Estos resultados también son coherentes con lo evidenciado por (Gupta et al., 2023) y (Arslan et al., 2024), quienes, en su conjunto, remarcan la necesidad de un análisis estructurado de cualquier empresa, antes de ejecutar cambios en ella.

Tabla 2
Porcentaje de cumplimiento de los requisitos del SGC antes de su implementación

Requisitos del SGC	Cumplimiento antes (%)
Organización	12.5
Liderazgo	25
Planificación	10
Soporte	29.2
Operación	23.8
Desempeño	16.1
Mejora	18.3
Promedio	19.3

B. Diseño del SGC para la empresa de estudio

La mitigación de las brechas identificadas y analizadas, en donde se alcanzó gran porcentaje de incremento en el cumplimiento integral de los lineamientos normativos, al momento de implementar el SGC (Tabla 3), encaja con los resultados reportados por (Mercader Alarcón et al., 2023), quienes evidenciaron que un diseño práctico, completo y estructurado del sistema en una organización permite grandes avances en el primer año de aplicación. De igual manera, se coincide con investigaciones realizadas por (Ouchama et al., 2023) y (Arslan et al., 2024), remarcan que parte importante de la efectividad de la implementación radica en el compromiso de los líderes de la empresa y la alineación del sistema con la estrategia de negocio. Además, (Vázquez Cid de León et al., 2023) recalca que, para que la aplicación de un SGC alcance altos niveles de desarrollo, es necesario adoptar un enfoque de mejora desde un inicio, con el fin de que el sistema vaya más allá de simples procesos y procedimientos documentados. De manera similar a los resultados obtenidos en este estudio, en organizaciones indonesias se evidenció que la ISO 9001:2015 mejora el desempeño solo cuando sus procedimientos se aplican de forma real y no como un requisito formal, destacándose la importancia de fortalecer la cultura de calidad interna (Bakhtiar et al., 2023). Finalmente, un estudio en Turquía demostró que su implementación refuerza la orientación al cliente y la calidad interna, contribuyendo a un éxito sostenido, lo que reafirma la utilidad de la norma más allá de la certificación formal (Idris & DURMUŞOĞLU, 2023).

Tabla 3
Requisitos y documentación

Num. ISO	REQUISITO	Items	ENTREGABLE
Contexto de la Organización (Punto 4 del ISO 9001:2015)			
4.1	Comprender a la organización y el contexto que tiene	Cuenta con un SGC definido	Documentación de SGC
4.2	Comprender a las necesidades y las expectativas de los interesados	Realizar una gestión para satisfacer los requerimientos de los clientes	Encuestas sobre satisfacción y capacitación al personal

Num. ISO	REQUISITO	Items	ENTREGABLE
4.3	Determinar el alcance SGC en la organización	Cuenta con un alcance definido del SGC	Alcance del SGC
4.4	SGC	Tienen sus procesos y procedimientos correctamente documentados	Proceso, procedimientos aprobados
Liderazgo (Punto 5 del ISO 9001:2015)			
5.1	Liderazgo y compromiso	Su personal se encuentra capacitado en calidad (política, objetivos estratégicos, importancia de la calidad en el alcance de resultados, relación de los procesos, manejo de los requerimientos, riesgos, satisfacción del cliente y otros)	Evaluación de desempeño de los colaboradores, clima laboral y buzón de sugerencias
5.2	Política de la calidad en la organización	La organización tiene una política de calidad actual y que esté en proceso de mejora	Política aprobada
		La empresa satisface a los objetivos de la calidad	Objetivos de la calidad medidos
5.3	Roles, responsabilidades y dirigentes de la organización	Los trabajadores tienen funciones relacionadas al liderazgo	Funciones de calidad asignadas del personal
Planificación (Punto 6 del ISO 9001:2015)			
6.1	Establece medidas para abordar riesgos y oportunidades	Evidencia documental de calidad considera la gestión de riesgos para lograr los resultados esperados.	Matriz de riesgos, informe de evaluación y acciones relacionadas
6.2	Directrices de calidad y planificación para alcanzarlos	Las directrices se alinean con la política de calidad y se convierten en objetivos cuantificables. Las directrices son precisas, relevantes, comunicadas, registradas, supervisadas y revisadas periódicamente.	Política y objetivos de calidad
		Se programa cómo se alcanzarán las directrices y cómo se evaluarán sus resultados.	Plan de trabajo
6.3	Control de cambios del SGC	Los cambios para su ejecución son revisados y aprobados	Procedimiento aprobado de control de modificaciones
Apoyo (Punto 7 del ISO 9001:2015)			
7.2	Competencias	El nivel de habilidad de cada trabajador se evalúa en relación con sus labores y las exigencias referentes a la calidad	Ficha de evaluación al trabajador (RR.HH.)
7.3	Awareness / Concern	¿Están las áreas comprometidas a medir indicadores del SGC?	Resultados de medida de indicadores
		Los resultados y éxitos se comunican a los colaboradores	Reconocimiento por el desempeño del trabajador
7.4	Comunicación	La evidencia se comunica a las partes pertinentes de manera oportuna.	
7.5	Información Documentada	La información se gestiona y mantiene desde todas las fuentes e incluye información sobre el SGC y sus resultados relacionados con el proceso.	Procedimiento de control de documentación aprobado
Operación (Punto 8 del ISO 9001:2015)			
8.1	Desarrollo, Implementación y Control de Procesos operacionales	Se planifica, realiza, controla y mantiene los procesos del SGC (operacionales y de control)	Procesos aprobados e implementados
8.2	Determinaciones como el servicio será administrado, exigencias, mercado y relación con los clientes	Se ha establecido la forma en la que se comunicará a los clientes.	Check list de Inspección Higiénico Sanitaria, encuesta de satisfacción
		Se documenta y comprueba la información del servicio (resultados de las verificaciones y cumplimiento de los servicios planificados)	Check List de inspección higiénico sanitaria
8.3	Determina el procedimiento de diseño y desarrollo de productos y/o servicios	Se crea y desarrolla un diseño cuando no existan requisitos definidos para el servicio	Registro de servicios a implementar equivale al Check List de inspección higiénico sanitaria

Num. ISO	REQUISITO	Items	ENTREGABLE
		Organiza las actividades relacionadas con el diseño y realización de servicios	Plan de trabajo
		Establece los insumos del diseño y desarrollo del servicio	Contrato con proveedores
		Se evalúa el servicio prestado según lo planificado	Ficha Evaluación sobre el servicio o Check List de Inspección Higiénico Sanitario
		Se efectúa la revisión y control de modificaciones para definir las entradas y salidas	Reporte de revisión por la alta dirección
8.4	Monitorea y regula el suministro externo de bienes y servicios	Confirmar que los servicios cumplan con los requerimientos externos	Procedimiento de selección, documentación y evaluación de los proveedores aprobados.
8.5	Gestiona y controla las actividades de provisión de productos y servicios	Conoce las salidas del proceso y las medidas de control que hacen el servicio único	Proceso de elaboración del Check List de Inspección Higiénico Sanitario
		Se resguarda la propiedad de clientes y proveedores externos (comprueba y controla)	No realiza custodia
Evaluación (Punto 9 del ISO 9001:2015)			
9.1	Seguimiento, medición, revisión y evaluación	Se organiza cómo se realizará la medición, revisión y evaluación del SGC	Informe de evaluación de indicadores
		Se realizan auditorías internas sin programa establecido	Plan de auditoría, Informe de auditoría
9.2	Auditoría interna	Se realizan auditorías internas según programa establecido	Encuesta de satisfacción, Evaluación de expectativa del cliente
		El SGC satisface a los requerimientos de los clientes	Analiza el cumplimiento de objetivos y metas
		Se revisa la efectividad del SGC	Reporte de auditores
9.3	Revisión de la Dirección	Los auditores internos tienen su programa de acción estipulado	Reporte de revisión por la alta dirección
		Se llevan a cabo verificaciones de la gestión del SGC frecuentemente	
Mejora (Punto 10 del ISO 9001:2015)			
10.1	Medida correctiva e incumplimiento	Se determinan las oportunidades de mejora	Se llevan a cabo reuniones y se detectan las mejoras necesarias
		Se implementan las mejoras aprobadas	Programa de trabajo
10.2	Mejora	Los requerimientos del cliente se analizan para optimizar su nivel de satisfacción	Medición del porcentaje de satisfacción del cliente
		Se reconocen las causas de los incumplimientos	Registro de incumplimiento, aplicación de las herramientas de calidad
		Se incrementa la efectividad del SGC	Programa de trabajo
10.3	Optimizar la conveniencia, idoneidad y eficacia de su SGC	Se seleccionan procedimientos para encontrar causas y realizar mejoras	Herramientas de la Gestión de la calidad
		Se realiza un análisis de los documentos de salida relacionados a la evaluación y la gestión	Informe de mejora

C. Evaluación del impacto del Sistema de Gestión de la Calidad en la percepción del cliente interno.

Tabla 4

Preguntas realizadas al cliente interno, junto con su puntaje total máximo

ASPECTO DE CALIDAD	Nº	INTERROGANTES REALIZADAS	PUNTAJE MÁXIMO TOTAL
Calidad Funcional	P1	La empresa atiende satisfactoriamente sus dudas o inconvenientes.	42
	P2	La empresa conoce sus intereses y necesidades.	42
	P3	Se siente satisfecho con los resultados que recibe de la empresa.	42
Calidad Técnica	P4	Recibe información óptima y adecuada para el desempeño de su trabajo.	42
	P5	La empresa cumple con su expectativa de trabajo.	42
	P6	La empresa le brinda recursos necesarios, herramientas e instrumentos suficientes para tener en el puesto rapidez y eficacia.	42
Valor de Servicio	P7	El jefe generalmente te reconoce por un trabajo bien hecho.	42
	P8	El jefe toma decisiones con la participación de los trabajadores de la empresa.	42
	P9	Su sueldo o remuneración es adecuada con relación al trabajo que realizó.	42
Confianza	P10	Los servicios prestados por la empresa están cerca de sus ideales.	42
	P11	Tiene oportunidad para recibir capacitaciones que permitan el desarrollo de sus habilidades.	42
	P12	El jefe confía en el trabajo que usted realiza siempre.	42
Expectativas	P13	Se siente satisfecho con las funciones que realiza en el trabajo.	42
	P14	En su trabajo, siente que puede desarrollar sus habilidades.	42
TOTAL			588

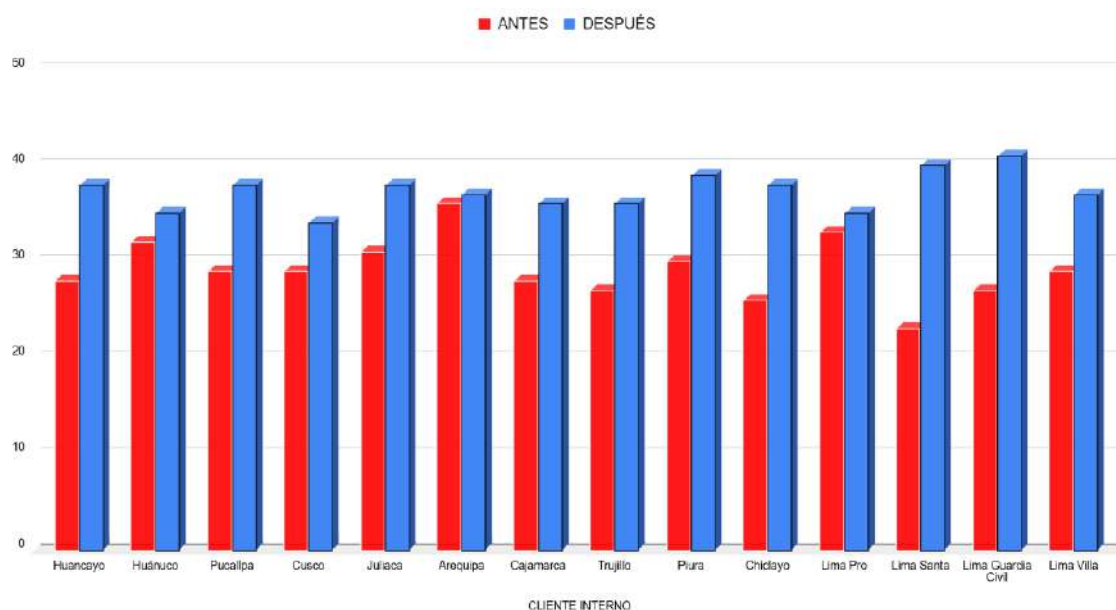


Figura 3. Comparación de puntajes obtenidos por clientes internos antes y después de la implementación del SGC.

Para evaluar el impacto de la implementación del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) en la organización, se aplicó un cuestionario compuesto por 14 preguntas dirigidas a los clientes internos, especificadas en la Tabla 4, donde las respuestas fueron valoradas mediante una escala de tres puntos: “En desacuerdo” (1 punto), “Indiferente” (2 puntos) y “De acuerdo” (3 puntos). Por lo tanto, el puntaje máximo por pregunta es de 42. La figura 3 muestra el puntaje de percepción de la satisfacción en la organización, alcanzado por cliente interno antes y después de la implementación del sistema de gestión de la calidad.

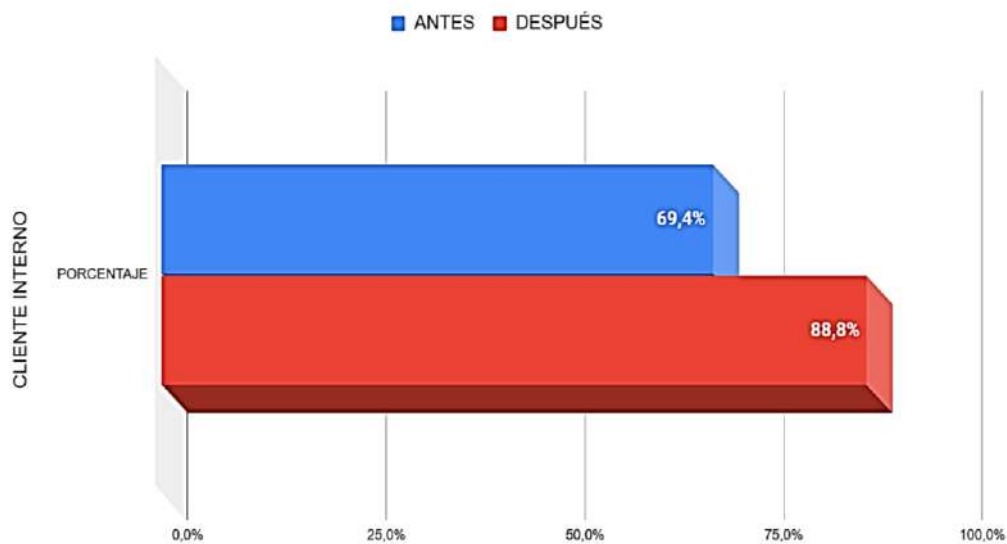


Figura 4. Mejora porcentual de la percepción del cliente interno

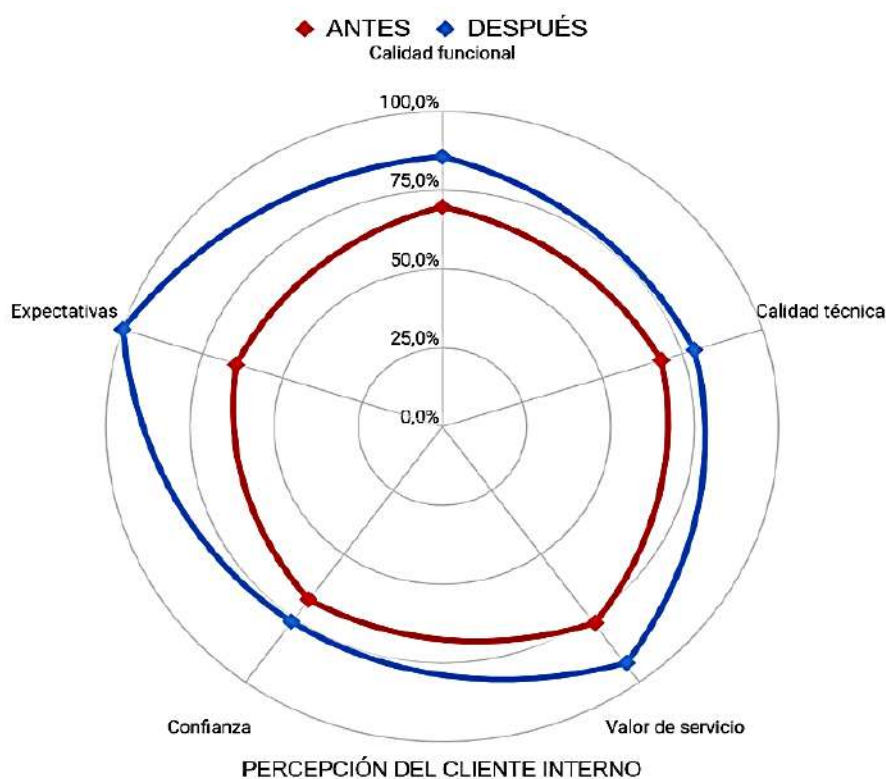


Figura 5. Percepción de la satisfacción del cliente interno según aspectos de la cal

Se observa un incremento en todos los casos, evidenciando una mejora general en la percepción del servicio tras la aplicación e implementación del Sistema de Gestión. En la figura 4 se puede observar el equivalente a una mejora porcentual del 19,4% (pasando de un 69,4% a un 88,8% de cumplimiento respecto al puntaje máximo posible).

En la tabla 4 se aprecia que cada conjunto de preguntas está asociada a un aspecto de la calidad: calidad funcional, calidad técnica, valor de servicio, confianza y expectativas. Para enriquecer la comparativa situacional al aplicar el sistema, se vio necesario mostrar la mejora de la percepción del cliente interno bajo estos aspectos, plasmados en la Figura 5.

Los hallazgos obtenidos en esta investigación concuerdan con la investigación realizada por (Milovanović et al., 2023) quienes mencionan que la satisfacción de los empleados aumentó en un 18% después de la implementación del sistema. De manera similar, el presente estudio mostró un incremento del 19,4% en la satisfacción del cliente interno. En la misma línea (Cuesta Santos, 2020) diseñó un modelo de evaluación matemática denominado VIS, que sirve para medir la satisfacción del cliente interno en función al cumplimiento de sus necesidades y expectativas, bajo los lineamientos de la norma. Este estudio demostró que, a mayores niveles de satisfacción, menor indisciplina y una mayor productividad laboral. Estos hallazgos reflejan que la aplicación de dicho sistema fortalece de manera interna a la organización, haciendo sentir a sus empleados escuchados y valorados, por lo tanto, motivados a desempeñar sus funciones, lo cual repercute de manera positiva a su eficiencia. Tal como lo señaló (Amaruddin et al., 2022) en su estudio, donde se reportó un incremento del 20% en eficiencia operativa a las entidades que aplican este sistema de gestión de calidad.

4. Conclusiones

Antes de la implementación, a nivel de organización, se alcanzó un 12.5 % global de cumplimiento de la norma; específicamente en liderazgo el 25%, en planificación el 10%, en soporte o apoyo el 29.2%, en operaciones el 23.8%, en desempeño el 16.1% y la mejora el 18.3%, siendo el promedio de estos porcentajes de 19.3%.

Se han identificado las causas de insatisfacción de los clientes por parte de la empresa que no ha solucionado satisfactoriamente las quejas y reclamos de los clientes, además la empresa no conoce realmente los intereses y necesidades de sus clientes. También se ha observado que no hay mejoras en la calidad del servicio al cliente. El 30.2% de los clientes indican que no hay calidad funcional en la empresa objeto de estudio. El 31.7% de clientes indican que no hay calidad técnica en la atención al cliente. El 23.8% de los clientes desaprueban el valor del servicio que reciben de la empresa. El 32.5% de los clientes no tienen confianza en el servicio proporcionado a los clientes y el 30.6% de los clientes indican que la empresa no cubre sus expectativas.

Se implementó el SGC fundamentado en la ISO 9001:2015 y se mejoró el contexto de la organización (numeral 4 de la ISO 9001:2015) incrementándose de 12.5% al 87.5%, a nivel de liderazgo (numeral 5 de la ISO 9001:2015) se incrementó de 25% a 85%, a nivel de planificación (numeral 6 de la ISO 9001:2015) el incremento fue de 10% a 80%, a nivel de apoyo (numeral 7 de la ISO 9001:2015) el incremento fue de 29.17% a 95.83%, a nivel de operación (numeral 8 de la ISO 9001:2015) el incremento fue de 23.81% a 85.7%, a nivel de evaluación (numeral 9 de la ISO 9001:2015) el incremento fue de

16.07% a 91.07% y a nivel de mejora (numeral 10 de la ISO 9001:2015) el incremento fue de 18.3% a 83.3%.

La ejecución del sistema de gestión de la calidad basado en la norma ISO 9001:2015 hizo que se incrementará el promedio 19.3% que se obtuvo antes de dicha implementación tomando en cuenta los ítems del N° 4 al 10 de la norma a 86.9%. siendo el incremento en 67.6%. La satisfacción de los clientes aumentó de 69.7% a 88.8% gracias a la implementación de la norma, lo cual demuestra que sí influyó significativamente la norma ISO indicada en la satisfacción de los clientes en la empresa.

5. Referencias Bibliográficas

- Amaruddin, H., Faturrohman, F., & Wardhani, M. K. (2022). Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2015 Terhadap Kinerja Operasional melalui Budaya Kualitas dan Perilaku Produktif Karyawan. *MASTER: Jurnal Manajemen Strategik Kewirausahaan*, 2(1), 29–38. <https://doi.org/10.37366/master.v2i1.292>
- Andres-Jimenez, J., Medina-Merodio, J.-A., Fernandez-Sanz, L., Martinez-Herraiz, J.-J., & Ruiz-Pardo, E. (2020). An Intelligent Framework for the Evaluation of Compliance with the Requirements of ISO 9001:2015. *Sustainability*, 12(13), 5471. <https://doi.org/10.3390/su12135471>
- Arslan, M. A. O., Thiruchelvam, S., & Hayder, G. (2024). Measuring the availability of the requirements of the quality management system (ISO 9001:2015) clause leadership, performance, and planning: a case study. *International Journal of Construction Management*, 24(8), 867–874. <https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2239437>
- Bakhtiar, A., Nugraha, A., Suliantoro, H., & Pujotomo, D. (2023). The effect of quality management system (ISO 9001) on operational performance of various organizations in Indonesia. *Cogent Business & Management*, 10(2). <https://doi.org/10.1080/23311975.2023.2203304>
- Cuesta Santos, A. (2020). Evaluación de la satisfacción laboral según la ISO 9001: 2015. *Cofin Habana*, 14(1).
- De los Santos, M. A. B. (2025). Effectiveness of Implementation of Quality Management System in the General Services Section. *International Journal on Science and Technology*, 16(1). <https://doi.org/10.71097/IJSAT.v16.i1.2780>
- Gejdoš, P., Závadská, Z., & Schmidtová, J. (2023). Determinants of the implementation of the quality management systems in SMEs. *E+M Ekonomie a Management*, 26(2), 58–68. <https://doi.org/10.15240/tul/001/2023-2-004>
- Gupta, S., Khanna, P., & Soni, U. (2023). Analyzing the interaction of critical success factor for TQM implementation- A grey-DEMATEL approach. *Operations Management Research*, 16(3), 1619–1640. <https://doi.org/10.1007/s12063-023-00367-y>
- Idris, M. C., & DURMUŞOĞLU, A. (2023). An empirical examination of ISO 9001's influence on sustained success of companies. *Accreditation and Quality Assurance*, 28(5), 221–235. <https://doi.org/10.1007/s00769-023-01543-0>
- Lino Gamarra, A., Medina Sotelo, C., Surpachin Miranda, I., Pandia Yáñez, E., & Cueva Quezada, N. (2024). Modelo de gestión por procesos en la mejora de servicios médico legales en un Ministerio del Estado peruano. *Revista Aula Virtual*, 5.
- Ma, D., Hu, J., & Wang, W. (2021). Differential game of product-service supply chain considering consumers' reference effect and supply chain members' reciprocity altruism in the online-to-offline mode. *Annals of Operations Research*, 304(1–2), 263–297. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04032-0>
- Magana, M. H., Bakama, E. M., Mukwakungu, S. C., & Sukdeo, N. (2020). The Implementation of ISO 9001:2015 to Improve Quality Service: A Descriptive Study on a South African Service Organization. *2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1230–1234. <https://doi.org/10.1109/IEEM45057.2020.9309854>

- Manatos, M. J., & Huisman, J. (2020). The use of the European Standards and Guidelines by national accreditation agencies and local review panels. *Quality in Higher Education*, 26(1), 48–65. <https://doi.org/10.1080/13538322.2020.1728835>
- Mercader Alarcón, M., Miralles Sancho, J., Pérez Carbonell, A., Nolasco Guirao, V., Antón Latour, M. A., & Miras García, M. M. (2023). Result of the implementation of a quality management system based on the ISO 9001:2015 standard in a surgical intensive care unit. *Revista Española de Anestesiología y Reanimación (English Edition)*, 70(1), 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.redare.2021.09.010>
- Milovanović, V., Paunović, M., & Casadesus, M. (2023). Measuring the Impact of ISO 9001 on Employee and Customer Related Company Performance. *Quality Innovation Prosperity*, 27(1), 79–102. <https://doi.org/10.12776/qip.v27i1.1808>
- Norberto Carneiro, W., Mendonça Neto, O. R. de, Afonso, P., Oyadomari, J. C. T., & Dultra-de-Lima, R. G. (2024). Implementing total quality management in a virtual organisation: thoughts and lessons from an interventionist approach. *Business Process Management Journal*, 30(6), 1916–1942. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-11-2023-0876>
- Ouchama, S., Badr, D., & Irhirane, E. H. (2023). Benefits of the changes of ISO9001:2015 on organisational performance. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 40(3), 406–428. <https://doi.org/10.1504/IJPMQ.2023.134810>
- Shang, M., Lee, C., Cao, J., & Liu, Y. (2022). A Construction and Empirical Study of Quality Management Evaluation Index System in the Internet of Things Industry. *Systems*, 10(6), 231. <https://doi.org/10.3390/systems10060231>
- Suhendris, S., & Saroso, D. S. (2018). ANALYSIS OF THE READINESS TOWARDS THE IMPLEMENTATION OF ISO STANDARD 9001: 2015 IN THE COMPANY OF HEAVY EQUIPMENT. *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, 10(3), 209. <https://doi.org/10.22441/oe.v10.3.2018.001>
- Vargas Badillo, A. D. (2023). Cultura organizacional enfocada al cliente y su relación con la iso 9001-2015 en ACR proyectos. *Revista Científica Retos de La Ciencia*, 7(14), 39–50. <https://doi.org/10.53877/rc.7.14.2023010104>
- Vázquez Cid de León, C., Alcántara Sánchez, A. N., & Montesinos González, S. (2023). Caracterización de la norma ISO 9001:2015 a través de la mejora continua para su implementación en organizaciones con inteligencia artificial. *Ingeniería Industrial*, 45, 109–129. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6627>
- Vykydal, D., Folta, M., & Nenadál, J. (2020). A Study of Quality Assessment in Higher Education within the Context of Sustainable Development: A Case Study from Czech Republic. *Sustainability*, 12(11), 4769. <https://doi.org/10.3390/su12114769>



GESTIÓN DE OPERACIONES INDUSTRIALES

Sitio Web: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/RINGIND>

Facultad de Ingeniería
Ingeniería Industrial



Universidad Nacional de Trujillo

Esta obra está publicada bajo una licencia [CC BY 4.0 DEED](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



REVISIÓN SISTEMÁTICA

Aplicaciones de la fabricación aditiva en el campo de la medicina (2010 -2025)

Impact of additive manufacturing in the field of medicine (2010 -2025)

Fernando Olivert Pantoja Payajo¹ , Joseph Luis Rodriguez Bermudez^{1*} ,
Edinson Andy Terrones Rosas¹ , Ronan Wilfredo Ventura Guanilo¹ 

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

*Autor de correspondencia: jrodriguezbe@unitru.edu.pe (J. Rodriguez).

Fecha de recepción: 12/04/2025

Fecha de aceptación: 26/06/2025

RESUMEN

En este artículo de revisión se analiza el impacto de la fabricación aditiva en el área de la medicina. En un contexto donde la personalización de tratamientos y el avance de tecnologías de impresión 3D están transformando el ámbito clínico, se identifican sus aplicaciones en el área medicinal. El objetivo principal fue explorar cómo esta tecnología está revolucionando el área de la medicina y lo que se quiere lograr a futuro. Para esta investigación se basó mediante el uso de la metodología PRISMA, en una revisión sistemática de estudios recientes sobre la fabricación aditiva o impresión 3D en el campo de la medicina. Entre los principales hallazgos, se evidenció que ésta permite una mayor precisión en los tratamientos, ha facilitado el aprendizaje anatómico, y logra reducir los tiempos de operación. Finalmente, se concluyó que la fabricación aditiva representa una herramienta innovadora y con gran potencial para el desarrollo de la medicina.

Palabras Clave: *fabricación aditiva, medicina, impresión 3D.*

ABSTRACT

This review article analyzes the impact of additive manufacturing in medicine. In a context where personalized treatments and the advancement of 3D printing technologies are transforming the clinical field, its applications in the medical field are identified. The main objective was to explore how this technology is revolutionizing medicine and what is expected to be achieved in the future. This research was based on the use of the PRISMA methodology and a systematic review of recent studies on additive manufacturing or 3D printing in medicine. Among the main findings, it was evident that it allows for greater precision in treatments, has facilitated anatomical learning, and achieves reduced operating times. Finally, it was concluded that additive manufacturing represents an innovative tool with great potential for the development of medicine.

Keyword: *additive manufacturing, medicine, 3D printing.*

1. Introducción

Actualmente, las organizaciones enfrentan desafíos significativos en la adopción plena de la manufactura aditiva, una tecnología disruptiva que promete transformar los procesos de producción industrial. Aunque ofrece ventajas evidentes en términos de flexibilidad

de diseño y eficiencia de material, la optimización de los procesos de impresión 3D sigue siendo un problema clave para asegurar la calidad y precisión de los productos manufacturados (Díaz-Martínez, et al. 2024).

Asimismo, la fabricación aditiva ha sido desarrollada para mejorar la planificación y asignación de órdenes en la producción industrial, con el objetivo de optimizar la eficiencia operativa y reducir tiempos muertos. Estas tecnologías permiten coordinar la ejecución simultánea de distintos pedidos mediante enfoques como subastas combinatorias, lo cual se traduce en un uso más eficaz de la plataforma de impresión y menor desperdicio de recursos. Actualmente, son cada vez más utilizadas en entornos de fabricación avanzada, permitiendo a las empresas no solo racionalizar su flujo productivo, sino también mejorar la toma de decisiones al analizar grandes volúmenes de datos sobre demanda, tipos de piezas y capacidades técnicas. (Anton Heredó, 2024)

La conocida como impresión 3D o fabricación aditiva, según los autores Vivas,M.R. et al. (2024), la define como: La construcción de modelos por medio de la añadidura de material capa a capa, dando lugar a la creación de estructuras complejas, estas no podrían ser elaboradas por sustracción desde una pieza de materia prima. En la actualidad ya existen múltiples opciones en lo que refiere a técnicas y materiales, variando en sus propiedades mecánicas, acceso, tiempos y costos.

En el caso del campo de medicina, la fabricación se realiza, según los autores César-Juárez et al.(2018): “a partir de un archivo cuyo fundamento estructural es un modelo tridimensional virtual viable se necesitan los estudios de imagen de un paciente para elaborar un molde personalizado”. Allí el modelo no es sino la representación digital de lo que se planea imprimir mediante algún programa computarizado para modelar.

Además, la tecnología de la fabricación aditiva en el área de la medicina se ha empleado, según Naranjo,M. y Guevara, B. (2024), en donde con el uso de la tecnología CAD/CADM se ha podido fabricar estructuras tridimensionales con imitación anatomofuncional. Este descubrimiento, se logró gracias a métodos como resonancias, tomografías y otras acciones radiográficas.

Y podemos decir que en la aplicación práctica, ofrece soluciones que impactan positivamente. Según Naranjo,M. y Guevara, B. (2024). Cada año las alternativas de aplicación que ofrece la impresión 3D son variadas. En su investigación documental reportaron avances en ámbitos como: modelos anatómicos para la pre-operación; ingeniería de tejidos; regeneración de tejidos; regeneración de cartílagos y tendón; odontología; materiales antimicrobianos.

Por todo ello consideramos importante revisar, a la actualidad de este artículo, cuales son los impactos de la impresión 3D. Sobre todo entendiendo su implementación en la mejora de la eficiencia para abastecer en los diferentes suministros que necesita el área de la salud

Por ello encontramos múltiples antecedentes que manejan este tema. Con la mira en nuestro objetivo de identificar las diferentes áreas de mejora de la fabricación aditiva en la medicina.

Por ejemplo, como ya hemos mencionado, en el año 2024 Naranjo,M. y Guevara, B. encontraron en su investigación que las tecnologías de fabricación aditiva han permitido que las estrategias médicas sigan innovando, tanto en el entrenamiento quirúrgico como en el ámbito de las prótesis y prototipos.

De la misma manera (Ventola, 2014) explica cómo el uso de la fabricación aditiva ha transformado notablemente el campo de la medicina moderna. Nos menciona que mediante el uso de este proceso se pueden crear prótesis personalizadas, modelo anatómicos para planificaciones quirúrgicas y dispositivos médicos en general, generando una mejora significativa con respecto a la eficiencia en los procedimientos clínicos.

Asimismo, (Advances, 2023) analiza el uso de la impresión 3D para la fabricación de implantes personalizados tanto metálicos como poliméricos con estructuras porosas controladas. Ellos indican que la implementación de esta tecnología permite diseñar diseños anatómicos compatibles con el cuerpo humano, reduciendo desperdicios de materiales y mejorando la biocompatibilidad de los implantes en áreas como ortopedia y odontología.

Siguiendo esta línea de investigación, este análisis sistemático tiene como objetivo identificar los impactos clínicos más significativos. Ventajas técnicas y desafíos de la producción aditiva en el campo de la medicina. Esta revisión se compone de 4 secciones: Metodología, Resultados, Debate y Conclusiones, todo ello con el objetivo de dar respuesta a nuestra interrogante de estudio.

2. Metodología

2.1. Materiales y métodos

En este estudio, realizaremos un repaso bibliográfico utilizando la guía PRISMA 2020. Esta metodología proporciona pasos definidos y reconocidos a nivel mundial para examinar estudios de manera sistémica, con el fin de prevenir perjuicios al seleccionar y sintetizar los trabajos incluidos (Page MJ et al., 2021)

Además, PRISMA 2020 incorpora diagramas de flujo, que facilitan la visualización visual de cómo se escogieron los estudios: la cantidad de artículos encontrados, descartados y aceptados. Estos esquemas incrementa la claridad y la excelencia laboral (Rethlefsen ML et al., 2022)

La implementación de PRISMA garantiza que los resultados logrados posean un respaldo científico robusto y sean más fiables.

PRISMA significa "Items Recomendados para Reporting for Systematic Reviews and Meta-Analyses". En 2020, se realizó una actualización para incrementar su claridad y ajustar la metodología a las revisiones contemporáneas. Incorpora una serie de 27 aspectos que abarcan todas las fases: desde la búsqueda y elección de artículos hasta la elaboración de resultados (Page MJ et al., 2021)

En esta investigación se formuló la siguiente pregunta: ¿Cómo se está aplicando la impresión 3D o fabricación aditiva en el ámbito de la salud?

2.1.1. Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión que se tomaron en cuenta en este estudio fueron los siguientes: se consideraron los trabajos que se publicarán entre 2010 y 2025.

Además, se tomó en cuenta las cadenas de búsqueda que se muestran en la Tabla 01. Es importante destacar que también se tomaron en cuenta los artículos en español.

En cuanto a los criterios de exclusión, se tomaron en cuenta únicamente artículos de acceso libre vinculados a la salud, descartando fuentes como diapositivas o formatos parecidos, debido a la incertidumbre en la confiabilidad de la información.

2.1.2. Proceso de recolección de la información

En la Tabla 1 podemos evidenciar nuestra terminología de búsqueda centrándonos en el repositorio de artículos y publicaciones de Scielo y Scopus.

Tabla 1
Terminología para investigación en las bases de datos.

Base de datos	Terminología de búsqueda
SCOPUS	databases, “Impresión 3D en la medicina”, year:[2010 TO 2025]
SCIELO	impresión 3d AND la:("es") AND is_citable:("is_true") AND type:("research-article")

3. Resultados y discusión

En principio podemos hacernos una idea de los conceptos que se manejan en este ámbito de estudio con un análisis bibliométrico. Con el software VOSviewer procesamos los resultados preliminares de Scopus.

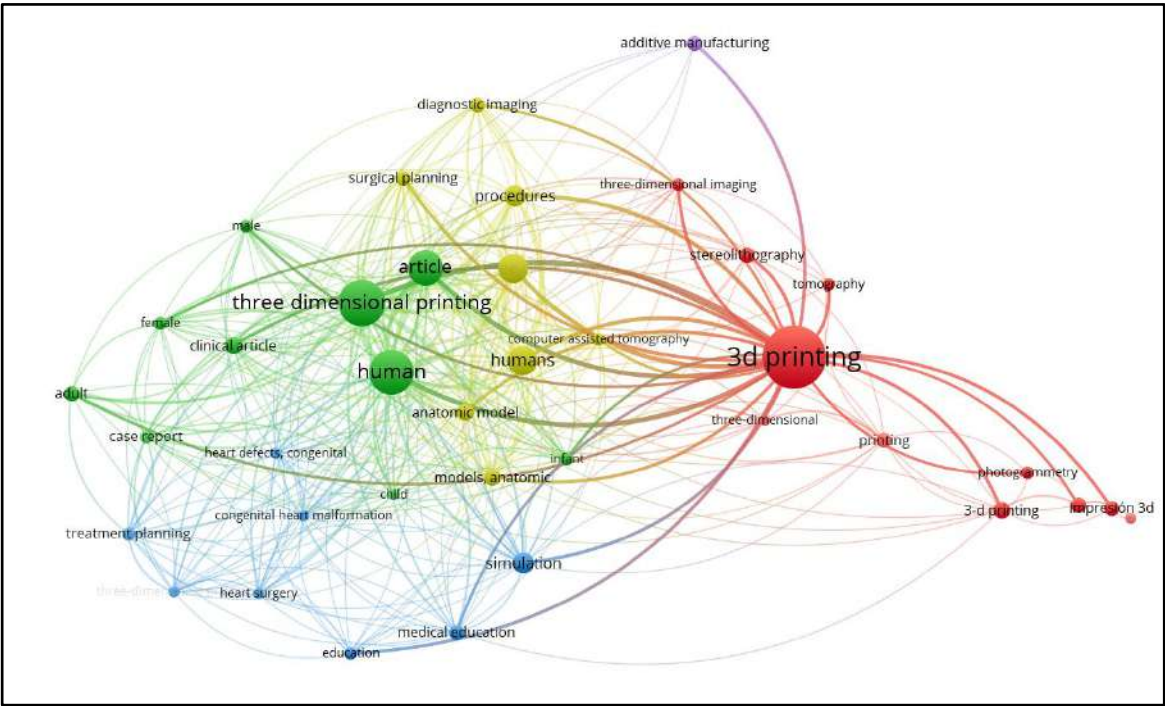


Figura 1. Resultados preliminares de Scopus mediante el software VOSviewer.

Procedemos con la elección de 25 artículos que según criterios de exclusión e inclusión, además de nosotros haberlos considerado los más representativos en el tema de estudio, serán estudiados a más detalle en la Tabla 2. A continuación se muestra el procedimiento, usando la metodología PRISMA.

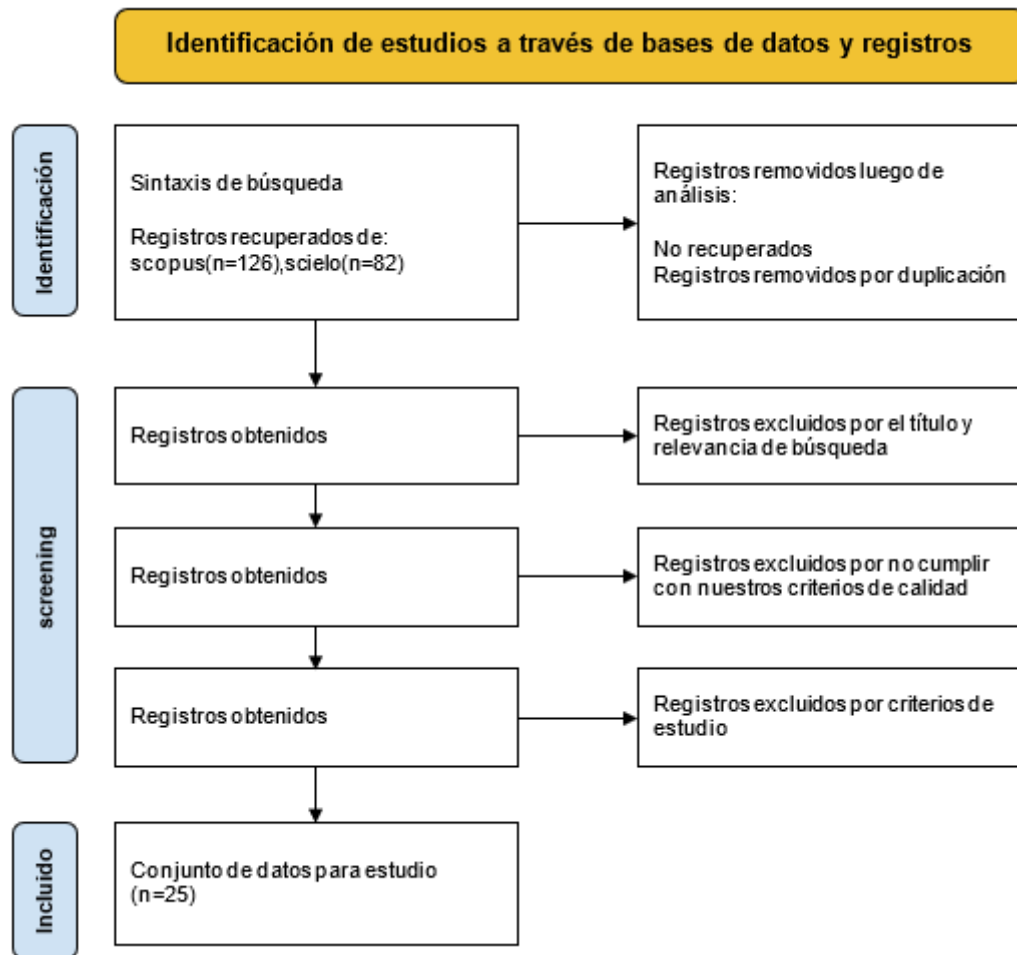


Figura 2. Criterios seguidos de inclusión y exclusión.

Tras una investigación exhaustiva, hemos identificado cuatro áreas generales de aplicación de la fabricación aditiva en el ámbito de la medicina (Figura 3).

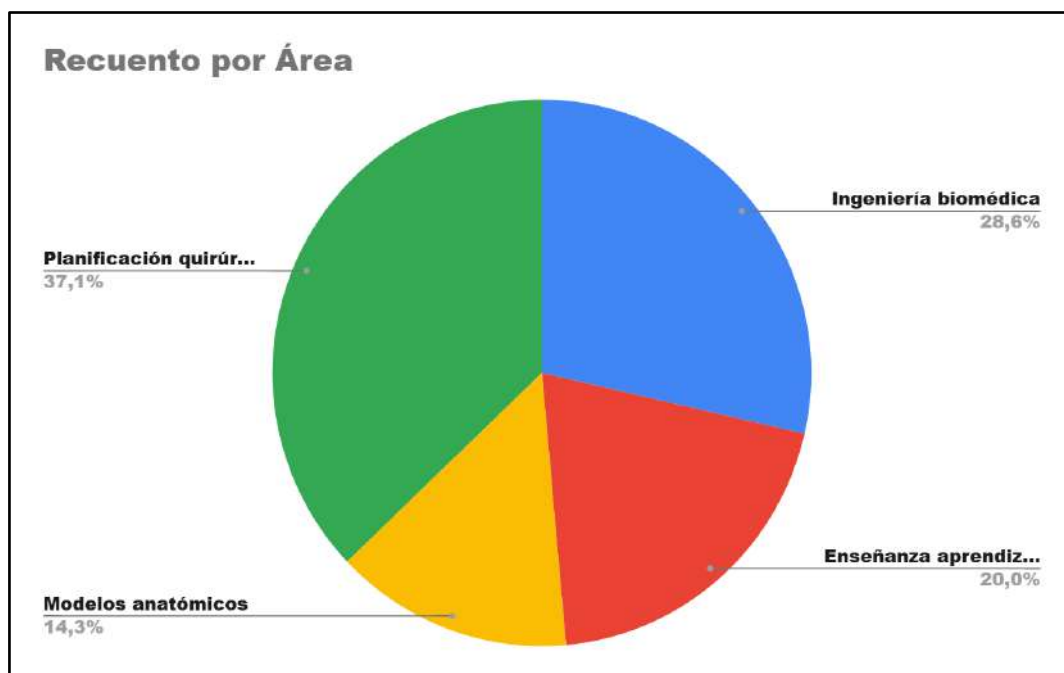


Figura 3. Áreas generales de aplicación de la fabricación aditiva en el ámbito de la medicina.

Tabla 2
Análisis de los artículos académicos

N°	Título del artículo	Aportes	Contexto	Limitaciones	Área
1	“Caracterización de materiales para la fabricación de inmovilizadores personalizados en pacientes de radioterapia con lesiones en extremidades mediante impresión 3D”	Integración de estructura y bolus en una sola pieza.	Mejora posicionamiento durante tratamiento en extremidades.	Modelo simulado, no analiza tiempos o costos.	Ingeniería biomédica
2	“Factibilidad y precisión de la impresión 3D a través de ecocardiografía transtorácica 3D en pacientes pediátricos”	Alta precisión anatómica para planificación clínica.	Aplicado a niños con CIV.	Muestra pequeña y sin evaluación técnica.	Modelos anatomía
3	“Ensayo clínico aleatorizado sobre la utilidad de la impresión 3D en las fracturas intraarticulares de radio distal”	Mejor visualización prequirúrgica con modelos PLA.	Comparación con planificación convencional.	No mejora tiempos o resultados funcionales.	Planificación quirúrgica
4	“Semi-solid extrusion 3D printing of plant-origin rosmarinic acid loaded in aqueous polyethylene oxide gels”	Diseño personalizado de formas farmacéuticas vegetales.	Desarrollo de sistemas de liberación controlada.	Variabilidad y control de viscosidad insuficiente.	Ingeniería biomédica
5	“Uso de impresión 3D en planificación preoperatoria de osteotomía por coalición metatarsiana: reporte de un caso”	Simulación quirúrgica, selección de injerto precisa.	Apoyo en decisiones quirúrgicas complejas.	Requiere imágenes y equipos costosos.	Planificación quirúrgica
6	“Impact of 3D Printing Technologies in Digital Dentistry”	Fabricación rápida y precisa con SLA/DLP.	Aplicación en prótesis y dispositivos dentales.	Costo y complejidad por tipo de impresora.	Planificación quirúrgica
7	Diseño y Fabricación de Modelos Impresos en 3D como Complemento para las Clases Prácticas de Histología Médica	Apoyo didáctico con estructuras 3D impresas.	Facilita comprensión tridimensional en clases prácticas.	Extrapolación de imagen 2D es limitada.	Modelos anatomía
8	“Utilidad de un modelo de reconstrucción e impresión 3D en Cirugía Hepática Compleja”	Modelos 3D personalizados para resecciones complejas.	Comparación pre y post intervención con 19 pacientes.	Variabilidad anatómica y complejidad técnica.	Planificación quirúrgica
9	“De imágenes médicas a modelos anatómicos impresos en 3D: un enfoque de impresión 3D asequible y de bajo costo”	Método accesible desde imágenes DICOM.	Software libre y segmentación optimizada.	Necesidad de correcciones en el modelo STL.	Modelos de anatomía
10	Impresión 3D en cuidado de la salud	Aplicación en cirugía, prótesis, educación médica.	Revisión sistemática en PubMed y Espacenet.	Costo, regulación y estandarización limitan adopción.	Ingeniería biomédica
11	Soluciones basadas en tecnologías tridimensionales para la práctica y la enseñanza de las ciencias biomédicas	Diseño colaborativo de dispositivos médicos funcionales.	Reducción de costos y gestión innovadora.	Adaptación organizacional y técnica es crítica.	Enseñanza aprendizaje
12	Comportamiento bio tribológico de prototipos de implantes de la aleación Ti6Al4V fabricados por EBM y posteriormente anodizados	Comparación de tres tratamientos superficiales.	Estudio tribológico en laboratorio controlado.	Falta validación en entornos clínicos reales.	Ingeniería biomédica

13	Uso y aplicación de la tecnología de impresión y bioimpresión 3D en medicina	Uso de células madre para órganos impresos.	Preserva anatomía original con imágenes médicas.	Desafíos de viabilidad clínica y funcional.	Planificación quirúrgica
14	Modelos de impresión tridimensional en la planificación preoperatoria y en la enseñanza académica de las fracturas mandibulares	Reducción de tiempo quirúrgico en 20%.	Planificación y formación de residentes.	Solo ocho pacientes, difícil generalización.	Enseñanza aprendizaje
15	Impresión 3D aplicada a la planificación y la resolución quirúrgicas en la cirugía ortopédica. Series de casos	Reduce tiempo, radiación y detecta complicaciones.	Aplicación en múltiples intervenciones quirúrgicas.	Costo alto y diferencias tecnológicas por caso.	Modelos de anatomía
16	Papel de la impresión 3D para la protección de los profesionales del área quirúrgica y críticos en la pandemia de COVID-19	Producción alternativa de EPP durante pandemia.	Proyecto coordinado en Cantabria, España.	Escasez de insumos limitó expansión.	Ingeniería biomédica
17	Ingeniería de diseño en Cirugía. ¿Cómo diseñar, probar y comercializar dispositivos quirúrgicos fabricados con impresión 3D?	Prototipado rápido en cirugía con CAD y 3D.	Ingeniería aplicada al diseño funcional.	Falta espacios para pruebas y fondos.	Ingeniería biomédica
18	Impresión tridimensional de modelos cardíacos: aplicaciones en el campo de la educación médica, la cirugía cardíaca y el intervencionismo estructural	Comprensión de cardiopatías y comunicación clínica.	Basado en imágenes médicas y simulaciones.	Falta estandarización y calidad variable.	Enseñanza aprendizaje
19	Biomateriales y tecnologías de impresión 3D en entrenamiento quirúrgico en otorrinolaringología: una revisión	Modelos quirúrgicos de entrenamiento otorrinolaringológico.	Revisión sistemática de tecnologías aplicadas.	Requiere validación y estandarización.	Planificación quirúrgica
20	Efectos de la impresión 3D en la planificación quirúrgica de las cardiopatías congénitas	Visualización precisa de estructuras cardíacas complejas.	Simulación quirúrgica con modelos impresos.	No se evaluó impacto clínico directo.	Modelos anatómicos
21	Aplicaciones actuales de la impresión cardíaca en 3D	Aplicaciones actuales y futuras en cardiología.	Revisión de literatura en salud cardiovascular.	Bioimpresión aún experimental y sin validación clínica.	Enseñanza aprendizaje
22	Desarrollo y validación del comportamiento mecánico de un implante discal cervical con forma de "S" de Ti-6Al-4V ELI fabricado mediante SLM	Diseño y validación mecánica del implante S.	Ensayos bajo técnica de retroalimentación funcional.	Evaluación limitada a laboratorio controlado.	Ingeniería biomédica
23	Elaboración de un simulador de trauma torácico a partir de un torso cadavérico utilizando tecnología de imágenes digitales e impresión 3D	Uso de torso cadavérico digitalizado.	Creación progresiva con elementos reutilizables.	Desafíos éticos y necesidad de fidelidad alta.	Ingeniería biomédica
24	Impresiones 3D de Cortes Transversales de un Cuerpo Humano: Un Recurso Didáctico para el Estudio de la Anatomía Seccional	Mejora reconocimiento estructural en anatomía seccional.	Evaluación educativa con material impreso.	Falta de cadáveres limita formación tradicional.	Enseñanza aprendizaje
25	Impresiones 3D, Nueva Tecnología que Apoya la Docencia Anatómica	Sistema procedimental para réplicas de alta fidelidad.	Propuesta de sustituto al cadáver en docencia.	Modelos útiles pero no reemplazan objeto real.	Modelos anatómicos

Modelos anatómicos

La fabricación aditiva es útil para llevar a físico los modelos digitales. Así pues, en el campo de la medicina los modelos anatómicos abundan. Estos tienen que cumplir con altos estándares para que representen de la mejor manera la realidad anatómica. Por ello Baeza et. al. (2015) sugirieron un sistema procedimental que puede ayudar a tal fin (Figura 4). Aunque todavía son usados los cuerpos humanos reales en muchas instituciones. Esta tecnología está siendo muy aceptada. Según Hecht-López et al. (2018) el avance de la tecnología impulsó que estos recursos nuevos se desarrollen y sean utilizados en la docencia.

Estos modelos anatómicos pueden variar en complejidad. Pueden ser un solo hueso o incluso sistemas completos. Según Borunda-Escudero et al. (2024) hablamos de implantes, prótesis y modelos personalizados, que son aplicaciones de la extensión de la impresión 3D.

Aunque esto no solo sirve a los profesionales de la salud sino a aquellas personas que han perdido una parte de su cuerpo o se las han fracturado. Sin embargo, no siempre es recomendable su utilización, no porque sean intrínsecamente peligrosos, sino porque a veces los métodos tradicionales son suficientes. Como lo constata Giraldo et al. (2023) quienes concluyen que sus parámetros estudiados no mejoraron con el uso de la impresión 3D.

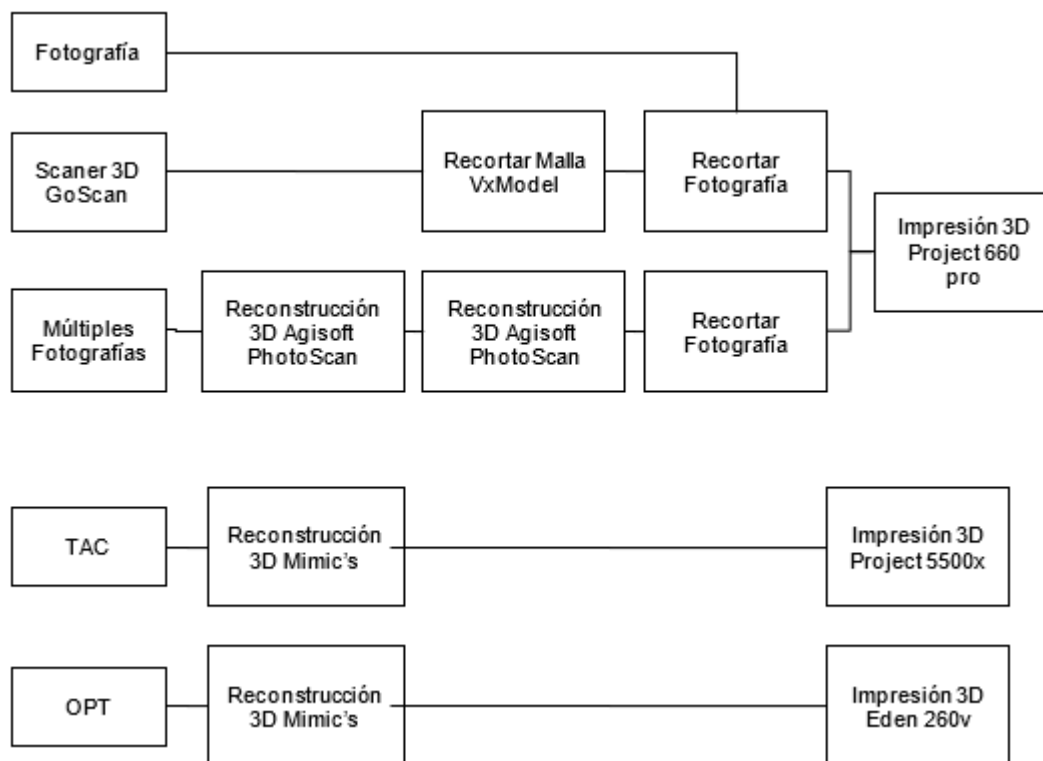


Figura 4. Sistema procedimental en modelos anatómicos (Fuente: Baeza et. al., 2015).

Ingeniería biomédica

Aplicado a la ingeniería también tenemos importantes hallazgos. Por ejemplo, para la realización de herramientas y productos que ayuden a la recuperación de los pacientes. Como Hernandez et al. (2025) señalan, diciendo que el uso de inmovilizadores

personalizados nos permite adaptarnos a cada situación, alcanzando así un mayor grado de precisión. Pero no solo la técnica es importante sino también los insumos, por ello es que en su trabajo Hernandez et al. (2025) registran que en el diseño personalizado del inmovilizador los mejores materiales son PLA para el soporte y Easy925 como material de bolus. Con esto se evidencia que es menester que el ingenio humano haga su parte para idear soluciones, aplicaciones y mejoras en el ámbito de la medicina.



Figura 5. Materiales inmovilizadores (Fuente: Jasińska et al., 2023).

Enseñanza aprendizaje

Lo que los profesionales de la salud saben en su ámbito alguna vez tuvieron que aprenderlo en sus aulas. El tema enseñanza aprendizaje es transversal, porque puede incluir una variedad de tópicos a tratar, pero el enfoque es que ayuda a mejorar la adquisición de conocimientos. En el 2023, Hecht-Lopez et al. afirmará que esta tecnología ha ganado cada vez más espacio en el currículum de la enseñanza de anatomía.

Para Ferreira-Moreno (2024) esta tecnología es garantía de independencia, y entre sus beneficios se encuentra:

- Velocidad de fabricación
- Producción bajo demanda
- Reducción de costos
- Ahorro de energía
- Sostenibilidad

Planificación quirúrgica

Contar con modelos personalizados nos brinda un gran apoyo en los casos donde se necesita una forma de acercarnos a la realidad lo mejor posible, sin el riesgo de afectar a la persona en sí. Por ejemplo, si se quiere explicar el procedimiento que se seguirá en una cirugía o si se quiere realizar una práctica antes de adentrarse al caso en sí. Todo esto también nos permite medir las variables como tiempo, complicaciones, exposición, etc.

dentro de una cirugía; por supuesto salvando las diferencias. Según Vivas (2024) su análisis demuestra que asistirse de impresión 3D para una cirugía mejora la predictibilidad, reduce el tiempo, costos, radiación y sangrado.

Como se ha visto, sus beneficios permiten operar en entornos que no son típicos. Estos escenarios abundan en medicina y en cirugía. Al no depender de la industria según Ferreira-Moreno (2024) esta tecnología es sostenible ya que permite operar en crisis de suministro, como es el caso de la postpandemia. Esta herramienta nos da información para las condiciones quirúrgicas que no son normales, para poder planificar y tratar (Vivas, 2024).

Modelos impresos

Los modelos que se imprimieron o analizaron en los 25 artículos que se analizó extendidamente se resumen en

Tabla 3
Modelos impresos

Nº	Tipo de modelo	Artículos que lo usan
1	Inmovilizador	Hernández et al., 2025
2	Corazón	Jiménez et al., 2025; Cano-Zárate et al., 2021; Ulate Retana et al., 2020; Valverde, 2016
3	Muñeca	Giraldo et al., 2025
4	Medicamentos	López et al., 2023
5	Pie	Torrealba et al., 2023
6	Modelo dental	Kiefer, 2023; César-Juárez et al., 2018
7	Tejidos	Concha et al., 2022
8	Hígado	López León et al., 2024
9	Modelos variados	Borunda-Escudero et al., 2024; Pérez-Sanpablo, 2021; Ferreira-Moreno et al., 2024; César-Juárez et al., 2018; Mantrana et al., 2018; Vivas et al., 2024; García et al., 2018; Achurra et al., 2021; Montt et al., 2020; Baeza et al., 2015
10	Prótesis de cadera	Ramírez et al., 2023
11	Equipo médico	Pedraja et al., 2020; García et al., 2018
12	Cabeza y cuello	Meszaros et al., 2023
13	Implante cervical	Álvarez et al., 2021
14	Tórax	Achurra et al., 2021

Luego de haber realizado un análisis minucioso a los proyectos investigativos obtenidos, notamos que la integración de la fabricación aditiva en el ámbito médico contribuye decisivamente en la mejora de la eficiencia operativa mediante la personalización de tratamientos y la producción rápida de soluciones específicas para cada paciente. Permitiendo liberar recursos materiales y humanos al reducir los tiempos de producción, facilitando intervenciones más precisas y eficientes, como lo han propuesto diversos autores en diversos contextos como clínicos y quirúrgicos.

López-León et al. (2024) implementó la impresión 3D para preoperatorios de hígado para planificar cirugías complejas, observando que estos modelos permiten decidir con mayor precisión qué casos realizar y disminuyen las complicaciones postoperatorias. De manera similar, Vivas et al. (2024) reportaron doce casos ortopédicos (defectos acetabulares, resecciones tumorales, etc.) en los que la impresión 3D mejoró la predictibilidad quirúrgica y disminuye el tiempo operatorio, el sangrado y la radiación intraoperatoria. Estos estudios confirman que los modelos tridimensionales contribuyen a ensayar y visualizar la anatomía antes de la operación, optimizando la técnica quirúrgica.

En cirugía maxilofacial, Mantrana et al. (2018) utilizaron impresoras FDM de bajo costo para fabricar modelos de fracturas mandibulares a escala real, obteniendo un ajuste perfecto de placas y tornillos premoldeados y reduciendo en un 20% el tiempo quirúrgico. Por otra parte en cardiología pediátrica, Jiménez et al. (2025) demuestran que es factible

imprimir modelos del corazón a partir de ecocardiografías transtorácicas 3D en pacientes con defectos cardíacos congénitos; estos modelos impresos reflejan con alta precisión la morfología de la comunicación interventricular, apoyando la planeación de intervenciones en casos de cardiopatías complejas.

Hernández-González et al. (2025) estudiaron materiales biocompatibles para imprimir inmovilizadores personalizados en radioterapia de extremidades, identificando que el PLA combinado con un bolus especializado ofrece características dosimétricas óptimas y ergonomía adecuada.

En el campo de los implantes óseos Ramírez et al. (2023) fabricaron prototipos de cadera en aleación Ti6Al4V mediante fusión de haz de electrones (EBM) y posterior anodizado, y constataron que dicho tratamiento superficial reduce drásticamente la tasa de desgaste del material bajo condiciones de fricción simulada. Similarmente, César-Juárez et al. (2018) destacaron el potencial de la bioimpresión 3D: cultivando células propias del paciente en andamiajes impresos se pueden generar tejidos u órganos personalizados, abriendo la puerta a terapias regenerativas innovadoras.

Varios de los estudios reportan aplicaciones prácticas de la impresión 3D en biomedicina. por ejemplo, ferreira-moreno et al. (2024) diseñaron y fabricaron varios prototipos médicos mediante impresión tridimensional (biomodelos para craneosinostosis, moldes de prótesis craneales y mamarias, prótesis de mano, andamios tisulares, etc.), demostrando la amplia versatilidad de estas. Esos autores concluyen que, en prácticamente todas las áreas de aplicación médica (excepto la impresión de fármacos), es factible obtener soluciones 3D, y advierten que directivos y profesionales médicos deben adquirir conocimientos y experiencia en su uso para aprovechar plenamente el potencial del.

Se han descrito también impactos formativos y educativos de la fabricación 3D. César-Juárez et al. (2018) en su revisión sobre impresión y bioimpresión 3D en medicina destacan su uso potencial en la generación de órganos, tejidos e implantes personalizados, subrayando el nuevo paradigma que estas técnicas abren en los sistemas de salud (César-Juárez et al., 2018). De manera concreta, Mantrana et al. (2018) demostraron que con impresoras depositivas FDM se pueden fabricar modelos mandibulares preoperatorios precisos a bajo costo.

No obstante, es importante considerar las advertencias de López-González et al. (2023), quienes advierten que, si bien la implementación de tecnologías tridimensionales en medicina ha demostrado ser eficaz y transformadora, también puede generar brechas en el acceso equitativo a la salud, especialmente en regiones con limitaciones tecnológicas o presupuestarias. Señalan que la adopción apresurada de estas herramientas sin una adecuada formación o regulación podría derivar en una dependencia tecnológica poco crítica y en desigualdades en la calidad del servicio prestado.

4. Conclusiones

En conclusión, la revisión sistemática ha demostrado la relevancia e impacto que puede generar la fabricación aditiva o impresión 3D en las diversas especialidades del área de la medicina como la ingeniería biomédica, la planificación quirúrgica y los modelos de anatomía.

Se mostró que la fabricación aditiva en el área de la medicina, ha logrado traer ventajas significativas como la personalización de dispositivos médicos claves como los modelos anatómicos que han llegado a mejorar la precisión de los tratamientos y la planificación

quirúrgicas. Además, se logra reducir el tiempo de los tratamientos quirúrgicos y favorecer el aprendizaje clínico mediante simulaciones más realistas.

Sin embargo, se puede ver que existen algunos desafíos como la validación clínica generalizada, los costos de producirlos debido a la necesidad de estandarizar los materiales, y que por el momento el acceso no sea muy frecuente, limitando su adopción masiva alrededor del mundo.

Finalmente, se concluye que la impresión 3D promete avanzar hacia un nuevo paradigma en el área médica como la bioimpresión 3D de los tejidos totalmente funcionales en la medicina regenerativa; y que esta tecnología se espera que un futuro sea cada vez más común su uso siendo que pueda consolidarse como una herramienta esencial para la medicina.

5. Referencias Bibliográficas

- Achurra, P., Caro, I., Contreras, C., Garrido, F., Inzunza, Ó., Jarufe, N., Ortiz, C., Ramos, J. P., Riquelme, C., Spoerer, S., Varas, J., & Vela, J. (2021). Elaboración de un simulador de trauma torácico a partir de un torso cadavérico utilizando tecnología de imágenes digitales e impresión 3D. *Revista de Cirugía*, 73(3). <https://doi.org/10.35687/s2452-45492021003906>
- Alvarez, C., Lean, P., Navarro, E., & Noriega, A. (2021). Development and validation of the mechanical behavior of a cervical disc implant with an “S” shape of Ti6Al-4V ELI manufactured by SLM. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(1), 197-211. <https://doi.org/10.14482/inde.38.1.620.5>
- Baeza, F., Burdiles, Á., Caro, I., Inzunza, O., Mondragón, G., & Salgado, G. (2015). Impresiones 3D, nueva tecnología que apoya la docencia anatómica. *International Journal Of Morphology*, 33(3), 1176-1182. <https://doi.org/10.4067/s0717-95022015000300059>
- Borunda-Escudero, G. E., Chávez-Ponce, N. A., Borunda-Escudero, F. S., Velasco-Villaseñor, M. L., & Castillo-Cardiel, M. G. (2024). De imágenes médicas a modelos anatómicos impresos en 3D: un enfoque de impresión 3D asequible y de bajo costo. *Cirugía y Cirujanos*, 92(4). <https://doi.org/10.24875/ciru.22000643>
- Cano-Zárate, R., Hernández-Barajas, E. K., Hernández-Barajas, H. H., Meave-González, A., & Espínola-Zavaleta, N. (2021). Efectos de la impresión 3D en la planificación quirúrgica de las cardiopatías congénitas. *Archivos de Cardiología de México*, 91(1), 1-6. <https://doi.org/10.24875/ACM.20000395>
- Casa-H, M., Brisso, J., González-Quintanilla, D., Mella, E., Pinto, N., Rodríguez, N., & Zamorano, J. P. (2021). Autotrasplante dental utilizando simulación virtual y un prototipo de modelo de impresión 3D. *International Journal Of Odontostomatology*, 15(1), 271-277. <https://doi.org/10.4067/s0718-381x2021000100271>
- César-Juárez, A., Olivos-Meza, A., Landa-Solís, C., Cárdenas-Soria, V., Silva-Bermúdez, P., Ahedo, C., Díaz, B., & León, J. (2018). Uso y aplicación de la tecnología de impresión y bioimpresión 3D en medicina. *Revista de la Facultad de Medicina, UNAM*, 61(6), 43-51. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422018000600043
- Concha, M., Godoy-Guzmán, C., Oneto, N., Osses, M., Padilla-Meza, J., Sanhueza, S., & Toledo-Ordoñez, I. (2022). Diseño y fabricación de modelos impresos en 3D como complemento para las clases prácticas de histología médica. *International Journal Of Morphology*, 40(2), 355-359. <https://doi.org/10.4067/s0717-95022022000200355>
- Díaz-Martínez, M. A., Román-Salinas, R. V., Ruíz-Hernández, S., Hernández-Cortés, N. A., & González-Rubín, V. I. (2024). La manufactura aditiva como elemento imprescindible de la industria 4.0 en beneficio de la ingeniería: un análisis bibliométrico. *Ingeniería Industrial*, (47), 209-238. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n47.7153>
- Ferreira-Moreno, V. G., García-Reyes, A. A., Rivas-Santana, M., Quiza-Sardiñas, R., & Acosta-Calvo, S. L. (2024). Solutions based on three-dimensional technologies for the practice and teaching of

- biomedical sciences. *Revista Médica Electrónica*, 46. Recuperado el 11 de junio de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242024000100006&lng=es&tlng=en
- García, J. I. R., Velasco, J. M. S., Suárez, M. V., Pereira, A. C., Sosa, V., & Rodríguez, J. L. C. (2018). Ingeniería de diseño en cirugía. ¿Cómo diseñar, probar y comercializar dispositivos quirúrgicos fabricados con impresión 3D? *Cirugía Española*, 96(4), 198-204. <https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2017.12.007>
- Hecht-López, P., & Larrazábal-Miranda, A. (2018). Uso de nuevos recursos tecnológicos en la docencia de un curso de anatomía con orientación clínica para estudiantes de medicina. *International Journal Of Morphology*, 36(3), 821-828. <https://doi.org/10.4067/s0717-95022018000300821>
- Hernández González, D., Castro Tejero, P., Roch González, M., Chamorro Serrano, P., Muñoz Torrijos, M. A., & Izquierdo Rodríguez, C. (2025). Caracterización de materiales para la fabricación de inmovilizadores personalizados en pacientes de radioterapia con lesiones en extremidades mediante impresión 3D. *Revista de Física Médica*, 26(1), 27-34. <https://doi.org/10.37004/sefm/2025.26.1.002>
- Jiménez Salinas, L. A., Vázquez Antona, C. A., Sánchez Pérez, T. E., Barrera de la Torre, J. C., & Trujeque Ruiz, A. L. (2025). Factibilidad y precisión de la impresión 3D a través de ecocardiografía transtorácica 3D en pacientes pediátricos. *REC: CardioClinics*, 60(2), 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.rccl.2024.12.002>
- Kiefer, S. (2023). Impact of 3D printing technologies in digital dentistry. *Health Leadership and Quality of Life*, 2, 290. <https://doi.org/10.56294/hl2023290>
- López León, M., Pérez de Villar Vivas, J. M., Alcalá-Mata, L., Paulano-Godino, F., Luna, A., Luque Molina, A., & López-Cillero, P. (2024). Utilidad de un modelo de reconstrucción e impresión 3D en cirugía hepática compleja. *Revista de Cirugía*, 76(1). <https://doi.org/10.35687/s2452-454920240011868>
- López-Saucedo, F., Chávez-Pacheco, J. L., Rojas-Molina, A., Martínez-Hernández, A. L., Morales-Contreras, B. E., & Alvarez-Lorenzo, C. (2023). Semi-solid extrusion 3D printing of plant-origin rosmarinic acid loaded in aqueous polyethylene oxide gels. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 11(5), 799-810. https://doi.org/10.56499/jppres22.1611_11.5.799
- Mantrana, G., Jacobo, O., Hartwing, D., & Giachero, V. (2018). Modelos de impresión tridimensional en la planificación preoperatoria y en la enseñanza académica de las fracturas mandibulares. *Cirugía Plástica Ibero-Latinoamericana*, 44(2), 193-201. <https://doi.org/10.4321/s0376-78922018000200012>
- Meszaros, N., Cortés, I., Zelada, Ú., & Cardemil, F. (2023). Biomateriales y tecnologías de impresión 3D en entrenamiento quirúrgico en otorrinolaringología: una revisión. *Revista de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello*, 83(1), 92-99. <https://doi.org/10.4067/s0718-48162023000100092>
- Mobarak, M. H., Islam, M. A., Hossain, N., Al Mahmud, M. Z., Rayhan, M. T., Nishi, N. J., & Chowdhury, M. A. (2023). Avances recientes de la fabricación aditiva en la fabricación de implantes: una revisión. *Applied Surface Science Advances*, 18, 100462. <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2023.100462>
- Montt, D., Caro, I., Neyem, A., & Inzunza, O. (2020). Impresiones 3D de cortes transversales de un cuerpo humano: un recurso didáctico para el estudio de la anatomía seccional. *International Journal Of Morphology*, 38(3), 578-584. <https://doi.org/10.4067/s0717-95022020000300578>
- Naranjo, M., & Guevara, B. (2024). Aplicación de la fabricación aditiva en el campo de la medicina. *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*. <https://doi.org/10.18682/cdc.vi236.11480>
- Pajares Gutiérrez, J., Poza García, D. J., & Acebes Senovilla, F. (2024). Planificación de la producción en fabricación aditiva: contribuciones a la formalización del problema y dinamización del mercado mediante subastas combinatorias [Tesis doctoral, Universidad de Valladolid]. *UVaDoc*. <https://doi.org/10.35376/10324/71599>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... Moher, D. (2021). Updating guidance for reporting systematic reviews: Development of the PRISMA 2020 statement. *Journal of Clinical Epidemiology*, 134, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.03.001>
- Pedraja, J., Maestre, J., Rabanal, J., Morales, C., Aparicio, J., & Del Moral, I. (2020). Papel de la impresión 3D para la protección de los profesionales del área quirúrgica y críticos en la pandemia de COVID-19. *Revista Española de Anestesiología y Reanimación*, 67(8), 417-424. <https://doi.org/10.1016/j.redar.2020.07.011>
- Pérez-Sanpablo, A. I. (2021). Three-dimensional printing in healthcare. <https://doi.org/10.17488/rmib.42.2.3>
- Ramírez, A., Zapata, C., Vargas, C., Tamayo, A., Baena, L., Castaño, J. G., ... Gómez, M. (2023). Comportamiento biotribológico de prototipos de implantes de la aleación Ti6Al4V fabricados por EBM y posteriormente anodizados. *TecnoLógicas*, 26(57), e2642. <https://doi.org/10.22430/22565337.2642>
- Rethlefsen, M. L., Page, M. J., Kiefer, L., Steven, A., & Moher, D. (2022). PRISMA 2020 and PRISMA-S: Common questions on tracking records and the flow diagram. *Journal of the Medical Library Association*, 110(3), 330–342. <https://doi.org/10.5195/jmla.2022.1449>
- Saimon, A. I., Yangué, E., Yue, X., Kong, Z. J., & Liu, C. (2024). Advancing additive manufacturing through deep learning: A comprehensive review of current progress and future challenges. *arXiv [cs.LG]*. <http://arxiv.org/abs/2403.00669>
- Sebastián Giraldo, P. Á., Elvira Soler, M., Fernández Kang, A., Martínez Martínez, J., & García López, A. (2025). Ensayo clínico aleatorizado sobre la utilidad de la impresión 3D en las fracturas intraarticulares de radio distal. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología*, 69(3), 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.recot.2023.05.011>
- Torrealba, J., Campos, L., Álvarez, M. F., & Ocaña, W. (2023). Uso de impresión 3D en planificación preoperatoria de osteotomía por coalición metatarsiana: reporte de un caso. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 34(5), 383–388. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2023.08.004>
- Ulate Retana, A., Sanabria Murillo, M. del M., Neily Younes, P., & Mata Jinesta, V. (2020). Aplicaciones actuales de la impresión cardiaca en 3D. *Revista Costarricense de Cardiología*, 22(1), 28-34. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-41422020000100028
- Valverde, I. (2016). Impresión tridimensional de modelos cardiacos: aplicaciones en el campo de la educación médica, la cirugía cardiaca y el intervencionismo estructural. *Revista Española de Cardiología*, 70(4), 282-291. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2016.09.043>
- Ventola, C. L. (2014). Medical applications for 3D printing: current and projected uses. *P & T: A Peer-Reviewed Journal for Formulary Management*, 39(10), 704-711.
- Vivas, M. R., Raiti Sposato, E. N., Bizzarri, P., Román, E. E., & Lías, A. (2024). Impresión 3D aplicada a la planificación y la resolución quirúrgicas en la cirugía ortopédica. Serie de casos. *Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología*, 89(3), 257–265. <https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2024.89.3.1798>



GESTIÓN DE OPERACIONES INDUSTRIALES

Sitio Web: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/RINGIND>

Facultad de Ingeniería
Ingeniería Industrial



Universidad Nacional de Trujillo

Esta obra está publicada bajo una licencia [CC BY 4.0 DEED](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



REVISIÓN SISTEMÁTICA

Tecnologías de biorremediación frente a métodos tradicionales para manejar los tratamientos de residuos industriales de países en desarrollo (2005 – 2025)

Bioremediation technologies versus traditional methods for managing industrial waste treatment in developing countries (2005 – 2025)

Marcelo Alexis Fabian Cerna¹ , Esmith Alexander Jimenes Segura¹ , Juan José Motta Fukomoto¹ , Jeshua Sean Manuel Obeso Tantapoma^{1*} , Oviedo Hugo Roldan Qusipe¹

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

*Autor de correspondencia: jsobesota@unitru.edu.pe (J. Obeso).

Fecha de recepción: 02/05/2025

Fecha de aceptación: 28/06/2025

RESUMEN

Este análisis se enfoca en cómo las tecnologías de mediación y biorremediación se comparan con las formas habituales de manejar los residuos industriales en países en desarrollo entre 2005 y 2025. Para este estudio, se revisaron a fondo bases de datos científicas importantes como Scopus, Scielo y Google Scholar. Se encontraron 34 estudios que nos enseñaron sobre las tecnologías de biorremediación usadas para manejar los residuos industriales. El estudio se centró en qué tan factibles son estas tecnologías con los problemas técnicos y de dinero que hay, sobre todo en países en desarrollo. Al revisar lo que dice la ciencia más reciente, se encontraron varias formas biológicas, como usar hongos micorrízicos, microalgas, soluciones orgánicas, nanomateriales y catalizadores, que han funcionado bien para evitar contaminantes y mejorar los procesos industriales con menos daño al ambiente. Se comprobó que usar estas tecnologías, aunque se ha avanzado, sigue teniendo problemas de organización y de acceso. Este estudio confirma que los métodos técnicos industriales, como crear y mejorar procesos que no dañen el ambiente, podrían hacer más fácil usar estas tecnologías de forma eficiente y ayudar a que la industria cambie a ser más responsable con el ambiente.

Palabras Clave: Manejo de residuos industriales, Biorremediación, Hongos micorrízicos, Microalgas.

ABSTRACT

This analysis focuses on how bioremediation and bioremediation technologies compare with common methods of managing industrial waste in developing countries between 2005 and 2025. For this study, major scientific databases such as Scopus, Scielo, and Google Scholar were thoroughly reviewed. Thirty-four studies were found that taught us about bioremediation technologies used to manage industrial waste. The study focused on how feasible these technologies are given the technical and financial challenges that exist, especially in developing countries. By reviewing the latest science, several biological methods were identified, such as the use of mycorrhizal fungi, microalgae, organic solutions, nanomaterials, and catalysts, that have worked well to avoid contaminants and improve industrial processes with less harm to the environment. It was found that the use of these technologies, even advanced ones, still presents organizational and access problems. This study confirms that industrial technical methods, such as creating and improving environmentally friendly processes, could make these technologies easier to use efficiently and help the industry become more environmentally responsible.

Keyword: Industrial waste management, Bioremediation, Mycorrhizal fungi, Microalgae.

1. Introducción

La Biorremediación se trata de una técnica que está emergiendo en lo que es el tratamiento ambiental donde se emplean los microorganismos vivos como lo son bacterias, hongos o vegetales para descomponer, modificar o remover sustancias contaminantes que se encuentran en el agua, suelo o residuos industriales emitido por empresas. Esta tecnología sobresale por encima de otras por el bajo impacto ambiental, su eficiencia ecológica y los bajos costos operativos que esta nos proporciona, además que es una opción viable en entornos con recursos técnicos limitados (Khalifa et al., 2025). Debido a estas ventajas, se ha considerado como una gran alternativa sostenibles frente a los métodos tradicionales para la eliminación de residuos, especialmente en los contextos con un avance tecnológico muy limitado.

En los países en desarrollo se tiene un manejo inadecuado de residuos industriales debido al crecimiento descontrolado de la actividad industrial que estos realizan y la falta evidente de normativas más eficaces. En este contexto se ha generado una contaminación excesiva en suelos y cuerpos de agua, afectando tanto al ambiente como a la salud humana (Rodrigues et al., 2024). En base a esta situación, se vuelve imprescindible el desarrollo e implementación de tecnologías más accesibles y sostenibles que permitan un manejo más eficiente de los residuos industriales.

Aquí es donde estos países optan por los métodos tradicionales de gestión de residuos, como la incineración, los vertederos o la neutralización química, han sido ampliamente utilizados por su capacidad de reducir rápidamente el volumen o la toxicidad de los residuos. No obstante, estos procedimientos generan subproductos peligrosos, consumen grandes cantidades de energía y requieren inversiones elevadas (Tian et al., 2025). Esto resalta la importancia que es generar nuevos métodos nuevas tecnologías alternativas para no perder, lograr minimizar el impacto ambiental además de los costos operativos uno de estos métodos que apoyan a lograr esto es el uso de la biorremediación.

Por otro lado, la biorremediación permite abordar esas limitaciones a través del uso de tecnologías naturales que se puedan operar en condiciones ambientales adversas. Se ha logrado demostrar la eficacia en la remoción de contaminantes complejos como hidrocarburos, metales pesados y compuestos orgánicos persistentes, esencialmente mediante el uso de los microorganismos autóctonos adaptados a un medio contaminado (Quan et al., 2024). Los resultados obtenidos han sido claves para impulsar su uso a nivel piloto y en contextos industriales reales.

Sin embargo, la adopción de la biorremediación en países en vía de desarrollo sigue siendo una limitación. Los principales obstáculos comprenden la poca investigación, la falta de políticas públicas de apoyo y la baja disponibilidad de personal capacitado (Grushevenko et al., 2024a). Estas limitaciones frenan su implantación y generan una dificultad a su integración en los sistemas de tratamiento.

Por estas razones, en el presente artículo de revisión se plantea como objetivo analizar, sintetizar y examinar la investigación científica relacionada con la implementación de la biorremediación en la administración de desechos industriales. Asimismo, se pretende ofrecer un fundamento firme para la elaboración de decisiones, técnicas, regulatorias e investigativas con relevancia en la implementación en contextos con limitaciones tecnológicas y económicas.

2. Metodología

Para la elaboración de esta revisión sistemática, se efectuó una búsqueda que abarcaba artículos de los años 2005 a 2025, con el objetivo de poder identificar las investigaciones más relevantes sobre el uso de la biorremediación en entornos contaminados. Se decidió aplicar ciertos criterios de inclusión y exclusión relacionado a biorremediación frente a los métodos tradicionales de tratamiento de residuos. Se priorizaron estudios revisados en pares y publicados en revista indexadas, también se tomó en cuenta la literatura técnica pertinente al español e inglés. (Martínez-Hernández et al., 2021; Vera et al., 2022).

La revisión siguió la guía metodológica PRISMA 2020 (Page et al., 2021), por lo que permitió garantizar la transparencia, rigurosidad y reproducibilidad del proceso. Este enfoque favorece la sistematización y la comparación de los datos averiguados , resaltando el uso de la biorremediación en contextos donde existen limitaciones económicas , técnicas y normativas, particularmente en países en vía de desarrollo que se inclinan más por el uso de los métodos tradicionales.

Datos

Fuentes de Información

Para la recolección de datos se consultaron bases de datos científicas reconocidas por su rigurosidad y alcance internacional. Se han considerado diversas bases de datos, como Scopus, Scielo y Google Scholar.

Criterios de Elegibilidad

Sobre los criterios se muestran en la tabla 1 donde se han tomado en cuenta artículos publicados entre el 2005 y 2025. Se enfocó en las tecnologías biorremediación y como está, está logrando superar a los métodos tradicionales en el sector de gestión de residuos industriales, en específico, a países en desarrollo. Mientras que hemos excluido estudios con reflexión personal, columna de opinión y estudios que no realicen un análisis comparativo y que no se encuentre entre el rango del 2005 y 2025, además, estudios que no hablen sobre las tecnologías biorremediación y/o métodos tradicionales en el sector ya comentado a países en desarrollo

Tipo, alcance y diseño

Este artículo se encuentra basado en el enfoque mixto por lo que combina los métodos cualitativos y cuantitativos. El de alcance es descriptivo en medida que analiza los aspectos más importantes de los estudios seleccionados. Utiliza un diseño no experimental de tipo revisión sistemática debido que a través de este se puede identificar patrones en las literaturas y así poder lograr una síntesis ordenada y crítica al conocimiento adquirido.

Tabla 1
Criterio de inclusión (CI) y exclusión (CE)

CI - CE	CRITERIO	SUSTENTACIÓN
CI	Tipos de estudio	Investigaciones cuantitativas, cualitativas y mixtas y análisis comparativo.
	Tiempo	Estudios publicados entre el 2005 y 2025
	Intervenciones	Estudios que se enfoquen en la superposición de las tecnologías de biorremediación a los métodos tradicionales dentro de la gestión de residuos industriales.
	Resultados	Estudios que muestran la importancia que está tomando las tecnologías de biorremediación en las gestiones de residuos industriales hacia países en desarrollo.
CE	Tipos de estudio	Estudios con reflexión personal, columna de opinión y estudios no comparativos.
	Tiempo	Estudios publicados fuera del rango de inclusión del 2005 y 2025.
	Intervenciones	Estudios que no aborden la superposición de las tecnologías de biorremediación a los métodos tradicionales dentro de la gestión de residuos industriales.
	Resultados	Estudios que no presentan la importancia que está tomando las tecnologías de biorremediación en las gestiones de residuos industriales hacia países en desarrollo.

Procedimiento

Estrategia de Búsqueda:

Se utilizaron los términos “Bioremediation Technologies”, “Traditional Methods”, “Industrial”, aplicados específicamente en títulos, resúmenes y palabras clave. Para ampliar la búsqueda y abarcar diferentes enfoques del tema, se empleó el operador booleano **OR** entre sinónimos y el operador **AND** para delimitar conceptos clave.

Cabe destacar que, en el contexto de esta revisión, se optó por no restringir la búsqueda únicamente a métodos tradicionales específicos, debido a que en numerosas publicaciones este término no aparece de forma explícita, aunque se alude a prácticas convencionales como la incineración o el vertido. Esta decisión se basó en la observación de que al utilizar el operador booleano **AND** junto al término “Traditional Methods”, se reducía considerablemente la cantidad de resultados pertinentes. (Ver tabla N°02)

Tabla 2

Base de datos y búsqueda sistemática

BASE DE DATOS	BÚSQUEDA SISTEMÁTICA	N°
Scopus	(TITLE-ABS-KEY("bioremediation" AND "technologies")) AND	238
	(TITLE-ABS-KEY("traditional" AND "methods")) AND	
	(TITLE-ABS-KEY("industrial"))	
Scielo	("Bioremediación") AND ("Residuos Industriales") AND ("Países en Desarrollo")	75
Google Scholar	allintitle: ("Bioremediation Technologies" OR "Bioremediation") AND ("Traditional	70
	Methods") AND ("Industrial Waste") AND ("Developing Countries")	

Sin embargo, el examen de los documentos recopilados permitió reconocer y analizar métodos tradicionales en contraste con técnicas de biorremediación, especialmente en sectores como la minería, la industria química, la agricultura intensiva y el tratamiento de aguas residuales. Estos ámbitos ofrecen ejemplos concretos de cómo se abordan los retos relacionados con la gestión de residuos industriales en países en desarrollo y evidencian el creciente protagonismo de la biorremediación como alternativa frente a los enfoques convencionales.

Selección de Estudios

Durante el proceso se identificaron 387 publicaciones obtenidas de las bases de datos. También se usó el gestor bibliográfico Zotero, a través de este se eliminaron de manera automática las publicaciones que se encontraban duplicadas, quedando solo 332 publicaciones. Posteriormente, se realiza una preselección tomando en cuenta el contenido de los títulos y resúmenes de las publicaciones obtenidas. Durante este proceso se eliminaron alrededor de 265 publicaciones que no abordaban el tema de la biorremediación y los métodos tradicionales para el tratamiento de residuos. Finalmente se aplicaron los criterios de elegibilidad para los artículos que nos quedaron, así nos quedamos solo con 34 artículos que cumplieran con todos los criterios de elegibilidad y fueron analizados en detalle en texto completo para esta revisión sistemática. Todo este proceso se encuentra detallado en la Figura 1

Análisis de Datos

Para esta revisión temática se usó la estadística descriptiva con el apoyo del software Microsoft Excel, con la finalidad de poder organizar y representar de forma gráfica los datos obtenidos de los estudios seleccionados. Además se empleó la herramienta de análisis bibliométrica como VOSviewer para así reconocer los patrones de concurrencia

entre las palabra claves y visualizar clusters temáticos que permita comprender tendencias predominantes en la aplicación de las tecnologías de biorremediación ante los métodos tradicionales.

Extracción de Datos

Se recopilaron 387 registros de bases de datos como Scopus, SciELO y Google Scholar, aplicando diferentes combinaciones de términos con operadores booleanos. Se aplicaron filtros basados en el tipo de estudio, el rango de años (2005–2025) y la comparación entre tecnologías de biorremediación y métodos tradicionales.

Evaluación de riesgo de sesgo

La investigación revela riesgos en su enfoque, como el sesgo en los artículos publicados, una revisión inadecuada de las fuentes y la ausencia de títulos completos en las tablas. Al implementar tecnologías innovadoras, los países en desarrollo enfrentan obstáculos financieros, técnicos y de regulación que limitan la adopción de la biorremediación. Además, sigue existiendo una inclinación hacia métodos convencionales que resultan más sencillos de aplicar, aunque no son tan amigables con el medio ambiente. Estas limitaciones afectan la validez y la importancia de los descubrimientos realizados.

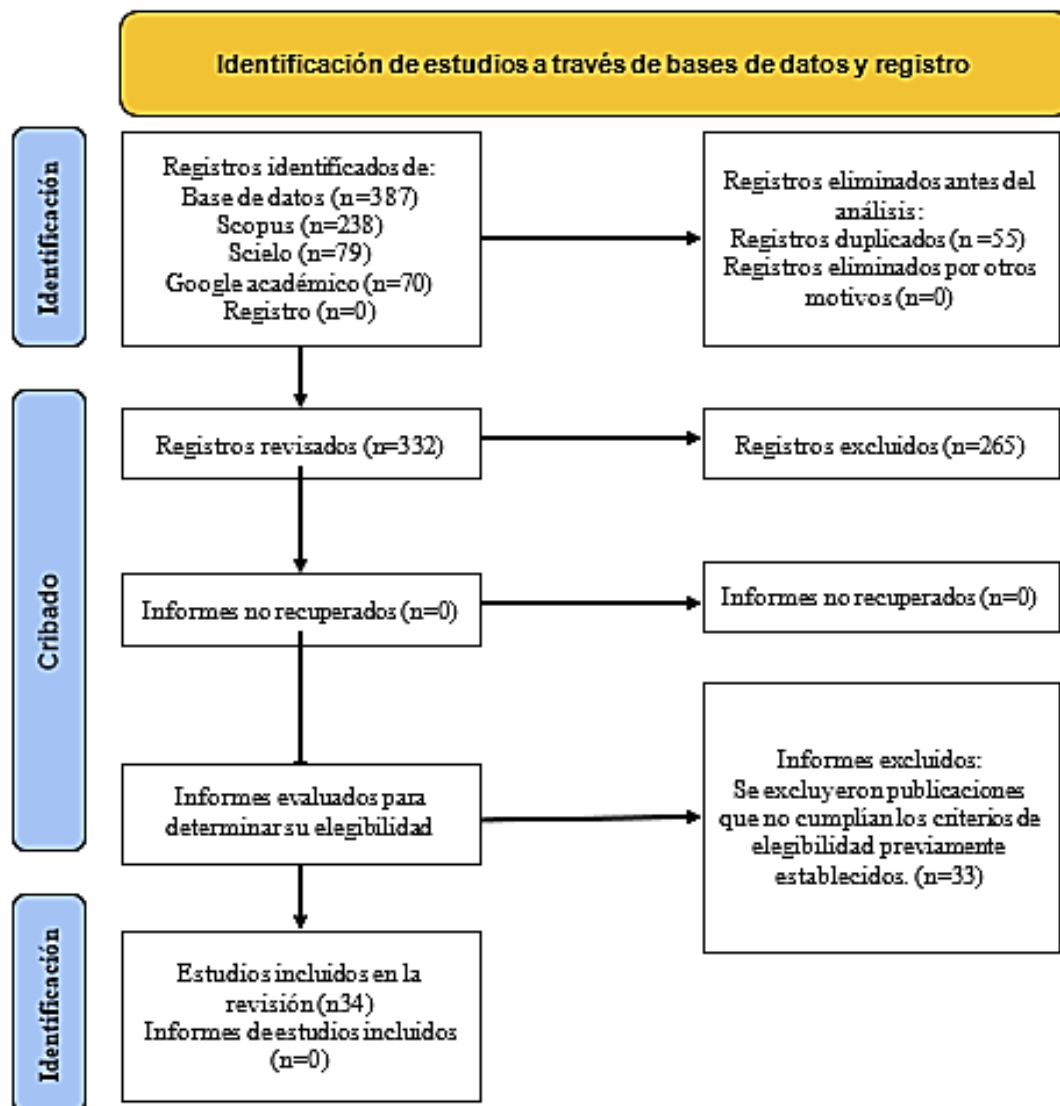


Figura 1. Diagrama de Flujo Prisma (Fuente: Adaptado de Haddaway et al.,2022)

3. Resultados y discusión

Esta revisión sistemática ofreció una perspectiva enfocada en los artículos elegidos, facilitando la detección de tendencias y patrones a través del estudio de palabras clave que podrían no ser evidentes de otra manera. En total, se recopiló un total de 34 estudios que cumplieron con los requisitos de elegibilidad y fueron analizados en su totalidad. Estas investigaciones se extrajeron de tres fuentes de datos: 18 de Scopus, 9 de SciELO y 7 de Google Scholar (Figura 2).

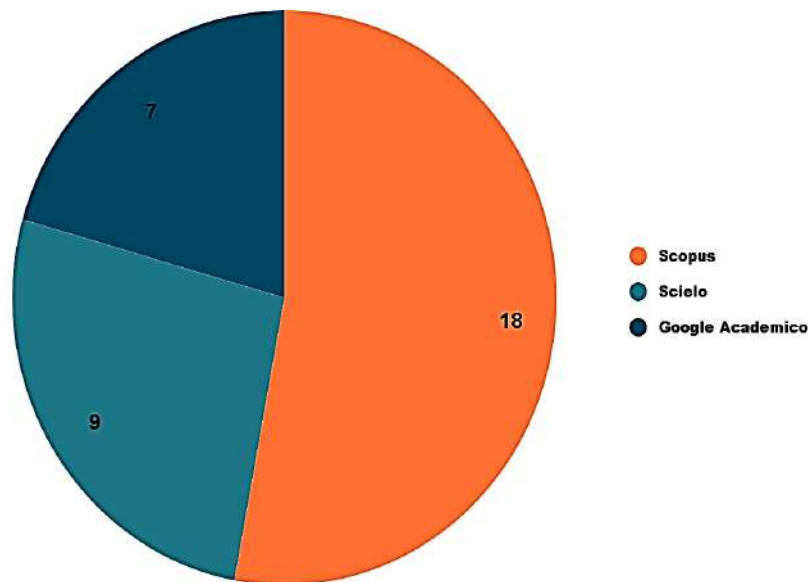


Figura 2. Proporción de publicaciones por repositorio.

El análisis temporal (Figura 3) se puede ver de manera evidente el aumento progresivo en las publicaciones en lo que es el tema de biorremediación en el año 2024, seguido por el año 2023. Este aumento supone el interés por obtener soluciones que sean sostenibles en lugar de la típica solución convencional. La investigación de Khalifa et al. lleva a cabo una comparación entre el tratamiento biológico y el tratamiento tradicional de cuerpos de aguas contaminadas (Khalifa et al., 2025). En esta misma línea de estudios, Rodrigues et al. Desarrollan pretratamientos biológicos de residuos agrícolas para ayudar a su posterior degradación (Rodrigues et al., 2024). Estos estudios son una prueba de que tanto él mismo como su expansión se pueden observar en la literatura científica reciente.

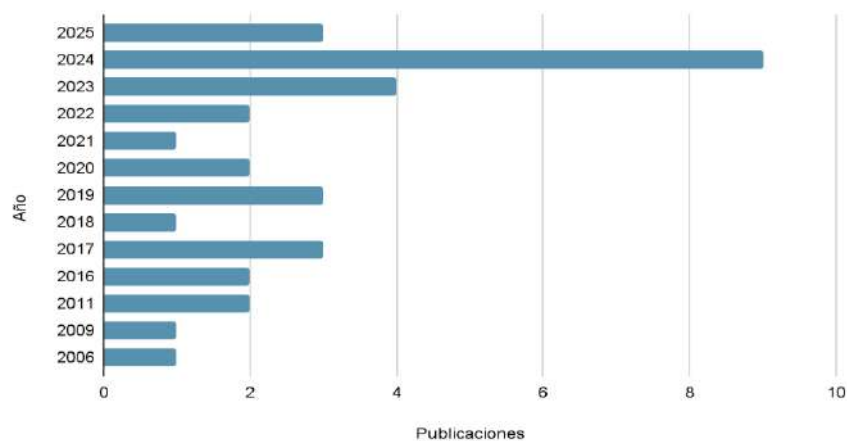


Figura 3. Investigaciones por año.

La distribución geográfica muestra que la mayor concentración de publicaciones relacionados a la biorremediación se encuentra en China con 114 publicaciones y le sigue la India con 41 publicaciones, mientras que en otras regiones como lo es África tienen una baja producción de publicaciones. Este patrón pone en manifiesto la desigualdad en el avance de este ámbito investigativo, el cual depende de la disponibilidad de mecanismo de tratamiento y políticas de inversión científica y técnica. Europa y América cubren parcialmente este fenómeno, esta concentración de países pone en manifiesto la necesidad de fomentar la investigación en países menos representados. Según, Machineni (2019) argumenta que los sistemas de tratamientos biológicos están más desarrollados en los países, en donde la infraestructura y los recursos científicos son mejores.

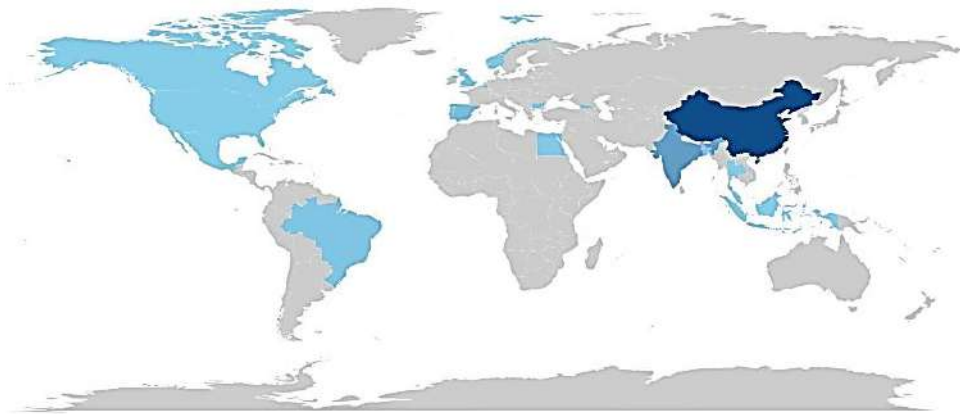


Figura 4. *Distribución geográfica.*

Posteriormente, en la Figura 5 muestra un análisis bibliométrico de coocurrencia de palabras clave a partir de 34 publicaciones obtenidas de tres bases de datos, utilizando el software VOSviewer. Se identifican tres clústeres temáticos bien definidos, destacando la centralidad del término “bioremediation”, que actúa como eje articulador entre conceptos relacionados como “methods”, “traditional” e “bioremediation”. Esta red de términos evidencia una fuerte interconexión entre la biotecnología ambiental y las tecnologías emergentes, lo que sugiere una tendencia creciente a integrar soluciones sostenibles con herramientas de la cuarta revolución industrial.

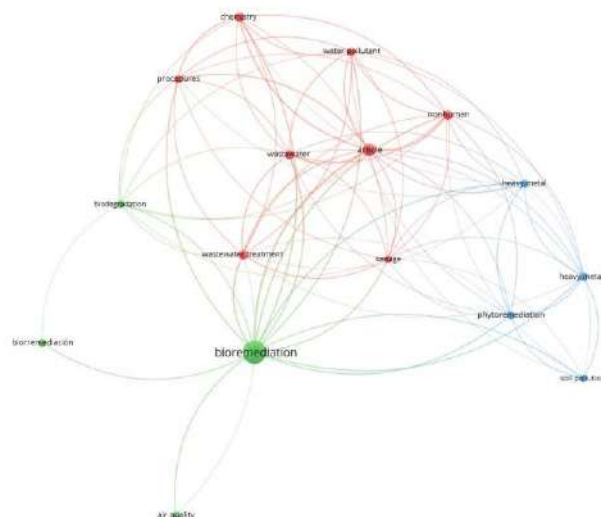


Figura 5. Análisis de concurrencia.

Finalmente se realizó un análisis a los métodos de biorremediación usados en las publicaciones. Según Majumder et al. (2024), la aplicación de tecnologías biológicas depende del tipo de contaminante y las condiciones del entorno. El análisis nos mostró que los procesos de biorremediación permite delimitar que el proceso de fitorremediación puede considerarse como el más citado, el que más se distingue puesto que este resulta muy bajo en el tema de costos y proporciona resultados muy interesantes en el proceso de remoción de contaminantes ; los métodos seguidos son bioaumentación y bioestimulación, que son aplicaciones cíclicas en función de los objetivos a conseguir; ya marcar el camino hacia una práctica de uso complementario entre las diferentes metodologías de biorremediación. Métodos como la rizorremediación y la bioadsorción son los que son menos frecuentes encontrados y además los más limitados en contexto ecológicos concretos, aportando la caracterización de las diversas estrategias. De este modo, se crea un avance en la práctica de los procedimientos como una fusión de los diferentes métodos de biorremediación, entendimiento la existencia de un contexto variable, siendo la solución que adopte la biorremediación el resultado de lo que más desee cada grupo de investigación

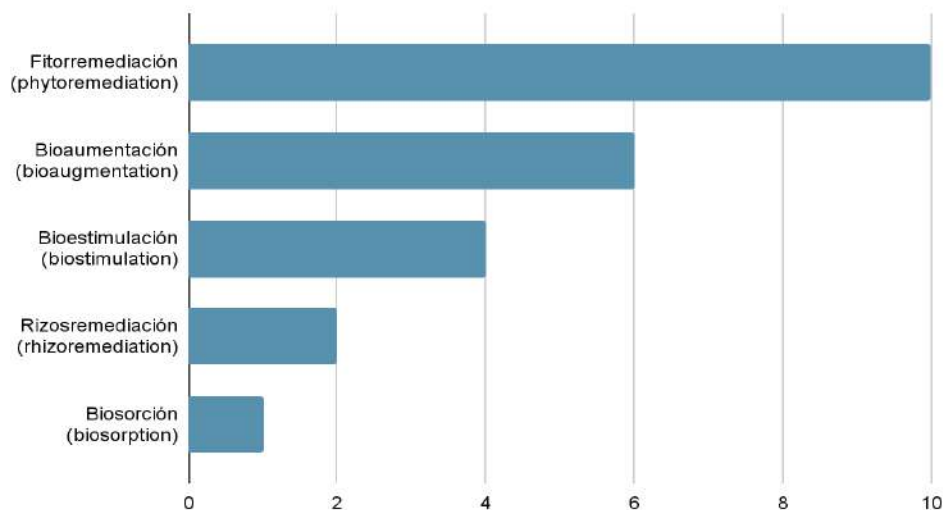


Figura 6. Tipos de métodos.

La Impacto de la Biorremediación frente a los métodos tradicionales:

La biorremediación es un gran paso adelante comparada con las formas típicas de tratar el medio ambiente, ya que usa microbios para quitar la suciedad de manera natural y efectiva. A diferencia de los métodos físicos o químicos, este plan no produce más desechos dañinos y gasta menos energía (Machineni, 2019). Estudios nuevos han resaltado su capacidad para recuperar cosas útiles al tratar aguas sucias (Grushevenko et al., 2024b). Además, usarla en tierras contaminadas ayuda a cuidar el ecosistema, disminuyendo el daño a la vida local (Tamayo-Ortiz & Navia-Antezana, 2018)

En cambio, los métodos de siempre, como quemar, la oxidación mejorada o usar membranas, normalmente usan mucha energía y cuestan mucho dinero para funcionar. Aunque estos sistemas sirven, pueden crear cosas que necesitan más tratamiento, lo cual afecta la sostenibilidad del proceso (Yan et al., 2023). A menudo no eliminan del todo la suciedad que persiste, lo cual significa un peligro continuo para las personas. Por esto, la biorremediación no solo es más amigable con el planeta, sino que también se adapta mejor a distintos lugares (Jing et al., 2024). Por eso, cada vez más estudios impulsan usarla como una solución clave para luchar contra la suciedad ambiental (Machineni, 2019).

Los éxitos de los métodos de limpieza que utilizan organismos vivos están restringidos a naciones más pobres debido a los obstáculos organizacionales y el acceso insuficiente a los materiales. Esto crea una dependencia de las técnicas convencionales, como quemar o descargar residuos, lo que lleva a prácticas insostenibles a largo plazo debido a sus altos costos e impacto ambiental.

En resumen, los métodos de biorremediación ofrecen opciones confiables para gestionar los desechos industriales en las naciones en desarrollo, pero aún no son adecuados para su uso debido a limitaciones técnicas, financieras e infraestructurales. El uso de estas tecnologías todavía está limitado en estas áreas debido a sus habilidades de baja tecnología y recursos escasos. A pesar del progreso en métodos biológicos, como emplear hongos que forman relaciones simbióticas con plantas, algas, materiales ecológicos y sustancias que aceleran las reacciones químicas.

La ingeniería industrial es crucial, ya que ayuda a crear métodos ecológicos, un mejor uso de materiales y el uso de herramientas de análisis para desarrollar tecnologías de biorremediación. Este trabajo en equipo permitirá un mejor manejo de basura y con un daño reducido a la naturaleza, también afectará un cambio más duradero hacia la producción en las naciones en crecimiento.

4. Conclusiones

A partir del análisis sistemático que se llevó a cabo, se descubrió que las tecnologías de biorremediación son una alternativa muy prometedora en comparación con los métodos tradicionales para el tratamiento de residuos industriales, especialmente en países en desarrollo. De 34 estudios elegidos de bases científicas como Scopus, Scielo y Google Scholar, está claro que existe un creciente interés en usar la biología para limpiar el medio ambiente.

Esto es muy relevante cuando se trata de situaciones en las que es difícil encontrar y pagar opciones ecológicas. Los resultados nos mostraron un montón de nuevas tecnologías, como hongos que ayudan a las plantas, algas pequeñas, cosas ecológicas y pequeñas partículas que hacen que las cosas sean más limpias y eficientes en fábricas, todo sin causar muchos problemas.

Impacto ambiental pero incluso con todo el progreso realizado, hay un gran problema cuando se trata de usar estos técnicos en el mundo real, principalmente debido a cosas como no tener suficientes recursos.

La carencia de instalaciones adecuadas y la continua dependencia de métodos tradicionales como la quema o el desecho. Asimismo, el análisis mostró que una gran porción de la literatura revisada se centra en ideas teóricas, lo que pone de manifiesto la urgente necesidad de realizar estudios empíricos que apoyen los beneficios de la biorremediación en situaciones verdaderas. En este sentido, es crucial la participación de la ingeniería industrial en la creación, el análisis y la optimización de procesos sostenibles, así como en la mejora de los recursos y la evaluación de los efectos ambientales.

Por último, aunque las tecnologías de biorremediación tienen un gran potencial para transformar la gestión de residuos industriales en regiones con capacidades limitadas, su adopción efectiva dependerá de superar las barreras técnicas, económicas y políticas que aún persisten.

5. Referencias Bibliográficas

- Barrios San Martín, Y., Toledo León, H. F., Abalos Rodríguez, A., Acosta Díaz, S., & Sánchez López, M. I. (2022). Aplicación de ramnolípidos de *Pseudomonas* sp. Y3-B1A en la biodegradación de hidrocarburos a diferentes escalas. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 38. SciELO México. <https://doi.org/10.20937/rica.54389>
- Beltrán-Pineda, M. E., & Gómez-Rodríguez, A. M. (2016a). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: Una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12(2), 172-197. google academico.
- Beltrán-Pineda, M. E., & Gómez-Rodríguez, A. M. (2016b). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: Una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12(2), 172-197.
- Bhat, S. A., Bashir, O., Ul Haq, S. A., Amin, T., Rafiq, A., Ali, M., Américo-Pinheiro, J. H. P., & Sher, F. (2022). Phytoremediation of heavy metals in soil and water: An eco-friendly, sustainable and multidisciplinary approach. *Chemosphere*, 303. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134788>
- Blanco-Vieites, M., Suárez-Montes, D., Delgado, F., Álvarez-Gil, M., Battez, A. H., & Rodríguez, E. (2022). Removal of heavy metals and hydrocarbons by microalgae from wastewater in the steel industry. *Algal Research*, 64. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102700>
- Cartagena David, M. I. (2019a). *Biorremediación en aguas residuales contaminadas con cianuro y mercurio generadas en el proceso de la minería aurífera en Colombia, a partir de una revisión bibliográfica entre los años 2008-2018*. google academico.
- Cartagena David, M. I. (2019b). *Biorremediación en aguas residuales contaminadas con cianuro y mercurio generadas en el proceso de la minería aurífera en Colombia, a partir de una revisión bibliográfica entre los años 2008-2018*.
- Cerrato, R. F., Avelizapa, N. G. R., Varaldo, H. M. P., Alarcón, A., & Villanueva, R. O. C. (2006). Processes of bioremediation of soil and water which were contaminated by oil hydrocarbons and other organic substances Characterization and bioremediation of places that have been contaminated by perforation residues Phytoremediation of soils contam. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 48(2), 179-187.
- Escobar Escobar, N. (s. f.). *Revisión Sistemática: Análisis de las técnicas de Biorremediación y Restauración aplicadas a Suelos con vocación Agrícola*.
- Galindo-Barboza, A. J., Domínguez-Araujo, G., Arteaga-Garibay, R. I., & Salazar-Gutiérrez, G. (2020). Mitigación y adaptación al cambio climático mediante la implementación de modelos integrados para el manejo y aprovechamiento de los residuos pecuarios. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11, 107-125. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4697>
- Garzón, J. D., Sarria, V. M., & Medina, O. F. S. (s. f.). *Biological and Physical-chemical Approaches for Pollutants Treatment: A Brief Review of the Universidad de los Andes Contribution*. google academico.
- Grushevenko, E. A., Safronov, P. A., Grudkovskaya, V. K., Petrova, I. V., & Bazhenov, S. D. (2024). Methods for Improving the Electromembrane Regeneration Efficiency of Industrial Alkanolamine Absorbents. *Petroleum Chemistry*, 64(11), 1327-1337. Scopus. <https://doi.org/10.1134/S0965544124080206>
- Khalifa, A. M., Elbaghdady, K. Z., El Kafrawy, S. B., & El-Zeiny, A. M. (2025). Bioremediation vs. Traditional Methods: A Comparative Review of Heavy Metal Removal Techniques from Aquatic Environment. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 29(2), 1307-1335. Scopus. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2025.419832>
- Lin, Q., Yang, Q., Zhao, D., Lu, S., & Ma, H. (2024). Research Progress on Source, Limitation and Detection Technology of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Food Contact Paper. *Journal of Food Science and Technology (China)*, 42(6), 25-34and67. Scopus. <https://doi.org/10.12301/spxb202400451>

- Liu, H., Zou, Q., Yang, Y., Song, Y., Xu, Y., & Li, G. (2024). One-step Preparation and Anti-icing Performance of Superhydrophobic Surface. *Surface Technology*, 53(16), 190-197. Scopus. <https://doi.org/10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2024.16.016>
- Machineni, L. (2019). Review on biological wastewater treatment and resources recovery: Attached and suspended growth systems. *Water Science and Technology*, 80(11), 2013-2026. Scopus. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.034>
- Majumder, D., Dey, A., Ray, S., Bhattacharya, D., Nag, M., & Lahiri, D. (2024). Use of genomics & proteomics in studying lipase producing microorganisms & its application. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 9. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2024.100218>
- Mondal, R., Chakraborty, T., Yadav, D., Bellare, J., Saxena, S., & Shukla, S. (2024). Poly(vinylidene fluoride)/Nickel Oxide-Montmorillonite Mixed-Matrix Membranes for Oil Separation from Emulsified Oily Wastewater. *ACS Applied Nano Materials*, 7(19), 22752-22765. Scopus. <https://doi.org/10.1021/acsanm.4c03745>
- Núñez, W. E., Sotomayor, D. A., Ballardo, C. V., & Herrera, E. (2023). Potencial de la biomasa fúngica: Producción y mecanismos de biorremediación de metales pesados del compost de residuos sólidos orgánicos municipales. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), 79-91. SciELO Peru. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.008>
- Orejuela, R., & Zahyr, J. (2019). Biorremediación de suelos y aguas contaminadas por la minería, en el municipio de Istmina (chocó): Una revisión documental. *No objeto asociado*.
- Otero Méndez-Benegassi, S. (2024). *Revisión bibliográfica: Biorremediación para la degradación de plásticos de polietileno por microorganismos*.
- Quan, H., Jia, Y., Zhang, H., Ji, F., Shi, Y., Deng, Q., Hao, T., Khanal, S. K., Sun, L., & Lu, H. (2024). Insights into the role of electrochemical stimulation on sulfur-driven biodegradation of antibiotics in wastewater treatment. *Water Research*, 266. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122385>
- Rodrigues, B. G., José, Á. H. M., Prado, C. A., Rodrigues, D., & Rodrigues, R. C. L. B. (2024). Optimizing corncob pretreatment with eco-friendly deep eutectic solvents to enhance lignin extraction and cellulose-to-glucose conversion. *International Journal of Biological Macromolecules*, 283. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137432>
- Rodríguez Martínez, R., & Suescún Otero, G. (2013). Aplicaciones e inconvenientes de la técnica Hibridación in situ Fluorescente (FISH) en la identificación de microorganismos. *Revista Salud Uninorte*, 29(2), 327-340. google academico.
- San José Sierra, A. S., & Ribón Daza, L. P. (2023). *Biorremediación en el tratamiento de aguas, una revisión narrativa*.
- Tamayo-Ortiz, M., & Navia-Antezana, J. (2018). Reduced lead exposure following a sensitization program in rural family homes producing traditional mexican ceramics. *Annals of Global Health*, 84(2), 285-291. Scopus. <https://doi.org/10.29024/aogh.916>
- Tian, P., Gao, P., Wang, M., Li, Y., & Han, Y. (2025). Pilot-scale recovery of iron from refractory specularite ore using hydrogen-based mineral phase transformation technology: Process optimization, mineral characterization, and green production. *Journal of Cleaner Production*, 491. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.144836>
- Torres, A., Rodríguez, H. A., & Ayala, M. (2023). Contaminantes emergentes en México: Panorama actual, retos y una posible solución biotecnológica. *TIP*, 26. SciELO México. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2023.590>
- Vásquez-Montes, S., Villarreal-Guerrero, F., Amaya-Olivas, N. I., & Hernández-Ochoa, L. R. (2020). Producción y composición química del aceite esencial de Dalea bicolor en diferentes regiones de Chihuahua, México. *Bot. sci*, 98(4), 486-498. SciELO México. <https://doi.org/10.17129/botsoci.2602>
- Wu, J., Zhang, J., Tan, Y., Zhang, S., Li, W., Ming, H., & Wang, C. (2024). Mechanical Properties and Microscopic Mechanism of Phosphogypsum-Slag-Lime Solidified Sediment. *Yingyong Jichu yu Gongcheng Kexue Xuebao/Journal of Basic Science and Engineering*, 32(5), 1360-1373. Scopus. <https://doi.org/10.16058/j.issn.1005-0930.2024.05.012>

- Xiong, X., Zhang, Y., Li, L., Zhang, J., & Tan, H. (2025). Pollutants generation characteristics from retired wind turbine blades treated with thermochemical methods. *Meitan Xuebao/Journal of the China Coal Society*, 50(2), 1331-1338. Scopus. <https://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.2024.0231>
- Yadav, K., & Rai, M. P. (2024). Green innovation unites biodiesel production with bioremediation of waste metal cutting fluid using *Chlorella sorokiniana*. *Biomass Conversion and Biorefinery*. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05316-8>
- Yan, X., Wang, J., Zhang, M., Hu, X., & Liu, X. (2023). Research Progress of Bioremediation Technology for Chromium Contamination in Soil. *Xiyou Jinshu/Chinese Journal of Rare Metals*, 47(9), 1302-1315. Scopus. <https://doi.org/10.13373/j.cnki.cjrm.XY20080025>
- Zakharov, G. V., Tavadze, G. F., Oniashvili, G. S., Aslamazashvili, Z. G., Chirakadze, A. A., Mikaberidze, G. V., Kvashvadze, D. L., & Urushadze, G. G. (2021). Obtaining of Ligatures from Manganese Production Wastes by Self-Propagating High-Temperature Synthesis. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 60(7-8), 513-518. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11106-021-00263-9>
- Martínez-Hernández, J. L., Ángeles, J. G., & Martínez, G. R. (2021). *Uso de microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. *Revista Bio Ciencias*, 8(3), 1–18. <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e1035>
- Vera, R., Romero, E., & Herrera, R. (2022). *Avances en técnicas de biorremediación para suelos contaminados: una revisión sistemática*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 24(2), 59–75. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v24n2.101155>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). *The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews*. *BMJ*, 372:n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>



UNT

ESCUELA DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL



INCADSU

INVESTIGADORES DE CADENAS
DE SUMINISTROS 4.0

Correo de Revista: goi4.0@unitru.edu.pe

Plataforma de Vigilancia Tecnológica

Correo electrónico: vgtindustrial@unitru.edu.pe

Sitio web: <https://vtindustrial.unitru.edu.pe>