

# **Estrategias Innovadoras para el Manejo Sostenible de los Laboratorios Clínicos**

*Innovative Strategies for the Sustainable Management of Clinical Laboratories*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10962148>

**AUTORES:** Kristhel Mishelle León Peláez<sup>1\*</sup>

Marjorie Alexandra Jimenez Cuello<sup>2</sup>

Victoria Carolina Bustamante Díaz<sup>3</sup>

Marjorie Raquel Robles Armijos<sup>4</sup>

**DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA:** [kleon2@utmachala.edu.ec](mailto:kleon2@utmachala.edu.ec)

**Fecha de recepción:** 22 / 01 / 2024

**Fecha de aceptación:** 07 / 03 / 2025

## **RESUMEN**

Este estudio investiga estrategias innovadoras para el manejo sostenible de laboratorios clínicos, esenciales en el diagnóstico y tratamiento médico, y su relación con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 3. Frente a la creciente demanda de pruebas diagnósticas y la necesidad de prácticas más sostenibles, este trabajo aborda cómo la innovación puede mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad ambiental de los laboratorios clínicos. Utilizando la Declaración PRISMA 2020 como marco metodológico para garantizar una investigación sistemática y transparente, se diseñó un protocolo detallado que orientó la búsqueda y análisis de estudios relevantes. Esta revisión consideró tanto factores internos

---

<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0009-0001-4076-0827>, Universidad Técnica de Machala, [kleon2@utmachala.edu.ec](mailto:kleon2@utmachala.edu.ec)

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0009-0006-6770-1700>, Hospital San Luis de Otavalo - Salud, [marjoriejimenezhslo@gmail.com](mailto:marjoriejimenezhslo@gmail.com)

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0009-0007-1698-6889>, Hospital de Tercer Nivel NORTHOSPITAL - Ecuador, [bustamantevictoria2@gmail.com](mailto:bustamantevictoria2@gmail.com)

<sup>4</sup> <https://orcid.org/0009-0001-7950-4214>, Laboratorio Clínico Privado NEOLAB - Ecuador, [maryurirobles.a1997@gmail.com](mailto:maryurirobles.a1997@gmail.com)

como externos que afectan la implementación de estrategias innovadoras, incluyendo regulaciones, avances tecnológicos, y la cultura organizacional. Se destacó la importancia de equipos energéticamente eficientes, la gestión avanzada de residuos y la optimización del procesamiento de muestras. Los resultados revelan que la adopción de tecnologías emergentes, como la automatización, la digitalización, y el uso de energías renovables, ofrece oportunidades significativas para mejorar la sostenibilidad en los laboratorios. Estas tecnologías pueden reducir el uso de energía y materiales, los desechos, y el impacto ambiental. Sin embargo, la implementación exitosa depende de varios factores, incluyendo el respaldo financiero, la capacitación del personal y un cambio cultural dentro de las organizaciones. En conclusión, la investigación sugiere que, para lograr laboratorios clínicos más sostenibles y cumplir con el ODS 3, es esencial integrar estrategias innovadoras y tecnologías emergentes. Esto no solo mejorará la eficiencia operativa y reducirá el impacto ambiental, sino que también mejorará la calidad de la atención médica. Se enfatiza la importancia de una colaboración amplia entre instituciones de salud, investigadores, y el sector privado para superar barreras y acelerar la adopción de prácticas sostenibles.

**Palabras clave:** Diagnóstico, Eficiencia, Laboratorios, ODS, Sostenibilidad, Tecnología

## **ABSTRACT**

This study investigates innovative strategies for the sustainable management of clinical laboratories, which are essential in medical diagnosis and treatment, and their relationship with the Sustainable Development Goal (SDG) 3. Faced with the increasing demand for diagnostic tests and the need for more sustainable practices, this work addresses how innovation can enhance the efficiency, quality, and environmental sustainability of clinical laboratories. Utilizing the PRISMA 2020 Declaration as a methodological framework to ensure systematic and transparent research, a detailed protocol was designed to guide the search and analysis of relevant studies. This review considered both internal and external factors affecting the implementation of innovative strategies, including regulations, technological advances, and organizational culture. The importance of energy-efficient equipment, advanced waste management, and sample processing optimization was highlighted. The findings reveal that adopting emerging technologies, such as automation,

digitalization, and the use of renewable energies, offers significant opportunities to improve sustainability in laboratories. These technologies can reduce energy and materials use, waste, and environmental impact. However, successful implementation depends on various factors, including financial support, staff training, and a cultural shift within organizations. In conclusion, the research suggests that integrating innovative strategies and emerging technologies is essential for achieving more sustainable clinical laboratories and meeting SDG 3. This will not only improve operational efficiency and reduce environmental impact but also enhance the quality of medical care. The importance of broad collaboration among health institutions, researchers, and the private sector to overcome barriers and accelerate the adoption of sustainable practices is emphasized.

**Keywords:** Diagnosis, Efficiency, Laboratories, SDGs, Sustainability, Technology

## **INTRODUCCIÓN**

Los laboratorios clínicos representan una piedra angular en el sistema de atención de la salud, siendo responsables de hasta el 70% de las decisiones médicas. Estos laboratorios desempeñan un papel crucial en el diagnóstico, seguimiento y tratamiento de enfermedades, proporcionando información vital para la toma de decisiones clínicas. Desde pruebas de laboratorio simples hasta análisis más complejos, los resultados obtenidos en estos espacios impactan directamente en la salud y bienestar de los pacientes. Además, su importancia se extiende a la investigación médica y el desarrollo de nuevas terapias y tratamientos (Al Agily et al., 2022).

En las últimas décadas, ha habido un creciente reconocimiento de la necesidad de abordar la sostenibilidad en el sector de la salud. Los sistemas de atención médica, incluidos los laboratorios clínicos, están bajo escrutinio debido a su significativa huella ambiental y su contribución a problemas de salud pública. Por ejemplo, se estima que el sector de la salud es responsable de aproximadamente el 5-8% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Además, los residuos generados por los servicios de salud pueden representar hasta el 10% de todos los residuos producidos en algunos países. Estas cifras resaltan la necesidad urgente de adoptar enfoques más sostenibles en el manejo de los laboratorios clínicos (Osorio et al., 2019).

El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 3 de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas se centra en garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos en todas las edades. Este objetivo aborda directamente la importancia de mejorar la salud y el acceso a servicios de salud de calidad en todo el mundo. En este contexto, los laboratorios clínicos desempeñan un papel crucial en el logro de este objetivo al proporcionar diagnósticos precisos y oportunos, así como apoyar la prevención y el tratamiento de enfermedades. El ODS 3 actúa como un marco global para abordar los desafíos de salud y bienestar, destacando la necesidad de integrar la sostenibilidad en todas las facetas de la atención médica, incluidos los laboratorios clínicos (Chaudhry et al., 2023; Quesada & Zeledón, 2022).

Es crucial que los laboratorios clínicos adopten prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, no solo para cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible, sino también para proteger la salud de las comunidades y los ecosistemas circundantes. La implementación de estrategias innovadoras en la gestión de laboratorios clínicos puede reducir su impacto ambiental, mejorar la eficiencia operativa y crear un entorno de trabajo más seguro y saludable para el personal. Además, la promoción de la sostenibilidad en estos laboratorios puede mejorar la percepción pública y la reputación de las instituciones de salud, así como generar ahorros económicos a largo plazo al reducir los costos asociados con el consumo de recursos y la gestión de residuos (McCrorry et al., 2020; Nti et al., 2023). El aumento constante en la demanda de pruebas diagnósticas es un desafío significativo que enfrentan los laboratorios clínicos a nivel mundial. Esta creciente demanda está impulsada por una serie de factores, que incluyen el envejecimiento de la población, el aumento de enfermedades crónicas y la mayor conciencia sobre la importancia de los exámenes preventivos. Esta presión sobre los laboratorios puede resultar en cuellos de botella en la capacidad de procesamiento, tiempos de espera prolongados para los pacientes y una mayor carga de trabajo para el personal. Para abordar este desafío, se requieren estrategias innovadoras que mejoren la eficiencia del procesamiento de muestras, como la automatización de procesos y la implementación de tecnologías de análisis de alto rendimiento (Molero et al., 2021).

Mantener altos estándares de calidad y precisión es otro aspecto crítico para los laboratorios clínicos. La exactitud de los resultados de las pruebas diagnósticas es fundamental para

garantizar un diagnóstico preciso y un tratamiento adecuado para los pacientes. Sin embargo, esto puede ser difícil de lograr, especialmente en entornos donde los recursos son limitados o la infraestructura es deficiente. La capacitación y la actualización constante del personal son clave para garantizar la calidad de los servicios de laboratorio, pero esto puede ser un desafío en áreas donde la formación especializada es escasa. Las estrategias innovadoras en este sentido podrían incluir programas de capacitación en línea, el uso de herramientas de control de calidad avanzadas y la implementación de sistemas de gestión de la calidad robustos (Gammie et al., 2023).

La gestión eficiente de los residuos peligrosos es un aspecto crítico para la sostenibilidad ambiental de los laboratorios clínicos. Los residuos generados en estos entornos pueden incluir productos químicos, materiales biológicos y materiales contaminados, todos los cuales pueden representar riesgos para la salud humana y el medio ambiente si no se manejan adecuadamente. La implementación de prácticas de segregación, almacenamiento y eliminación de residuos adecuadas es fundamental para minimizar estos riesgos. Además, la adopción de enfoques innovadores, como la reutilización y el reciclaje de materiales, puede ayudar a reducir la cantidad de residuos generados y mitigar su impacto ambiental. En este sentido, es crucial que los laboratorios clínicos desarrollen e implementen políticas y procedimientos claros para la gestión de residuos, así como que busquen oportunidades para colaborar con otras instituciones y organizaciones en iniciativas de sostenibilidad ambiental (Gammie et al., 2023; Osorio et al., 2019).

A nivel local, la implementación efectiva de soluciones innovadoras en el manejo de laboratorios clínicos requiere un enfoque adaptado a las condiciones específicas de cada entorno, considerando la disponibilidad de recursos financieros, técnicos y humanos, así como la infraestructura existente. En áreas con recursos limitados, podría ser necesario explorar alternativas de bajo costo y tecnologías simplificadas para garantizar prácticas sostenibles sin comprometer la calidad de los servicios de laboratorio. Además, es crucial tener en cuenta las regulaciones locales y los marcos legales para asegurar la conformidad con los estándares regulatorios y las políticas de salud y medio ambiente, lo que podría implicar la realización de evaluaciones de impacto ambiental y social y obtener las autorizaciones necesarias antes de implementar cambios significativos (Molero et al., 2021).

La colaboración entre instituciones de salud, centros de investigación, el sector privado y las comunidades locales es esencial para el éxito de las iniciativas de sostenibilidad en laboratorios clínicos locales. Esta colaboración aporta diversas perspectivas y recursos, enriqueciendo el proceso de diseño e implementación de estrategias sostenibles, y facilita el intercambio de conocimientos y mejores prácticas para acelerar la adopción de innovaciones en el sector. Es fundamental establecer mecanismos de colaboración, como grupos de trabajo multidisciplinarios y alianzas estratégicas, para promover prácticas sostenibles que generen un impacto positivo en la salud pública y el medio ambiente a nivel local (Chaudhry et al., 2023).

Este estudio se propone identificar y analizar estrategias innovadoras para el manejo sostenible de laboratorios clínicos, considerando su efectividad y viabilidad en diversos contextos. Se busca proporcionar recomendaciones concretas para su implementación exitosa, teniendo en cuenta las particularidades de cada laboratorio. Estos objetivos se alinean con la necesidad urgente de abordar la sostenibilidad en los laboratorios clínicos, contribuyendo así al logro del ODS 3. Se espera que la investigación genere recomendaciones prácticas basadas en evidencia para mejorar la sostenibilidad en los laboratorios, reduciendo costos operativos y mejorando la calidad de la atención médica. La implementación de estas estrategias es esencial para promover la sostenibilidad en el sector de la salud y contribuir al bienestar de la comunidad, al tiempo que se protege el medio ambiente.

### **Estrategia de búsqueda**

Para garantizar la rigurosidad y transparencia en el estudio sobre las estrategias innovadoras para el manejo sostenible de los laboratorios clínicos en base al cumplimiento de la ODS 3, se optó por utilizar la Declaración PRISMA 2020 como marco metodológico, el cual ofrece una guía completa y estructurada para llevar a cabo revisiones sistemáticas y metaanálisis. Este enfoque destaca la necesidad de una metodología detallada y transparente en todas las etapas del proceso de revisión. (Ciapponi, 2021; Hutton et al., 2016; Yepes-Nuñez et al., 2021).

El proceso de implementación de la Declaración PRISMA se inició mediante la elaboración de un protocolo de revisión previamente definido, el cual estableció los objetivos de la revisión, los criterios para incluir o excluir estudios, así como las estrategias a seguir en la

búsqueda de la literatura relevante. (Ciapponi, 2021; Serrano et al., 2022). Este protocolo proporcionó una guía estructurada para mantener la consistencia y la imparcialidad durante todo el proceso de investigación. En primer lugar, se llevó a cabo una evaluación inicial de los títulos y resúmenes de los estudios, seguida de un análisis minucioso del texto completo de los estudios preseleccionados para resolver cualquier discrepancia que surgiera (Linares-Espinós et al., 2018). Analizando de manera crítica la calidad metodológica de los estudios elegidos, lo cual posibilita una interpretación sólida y fundamentada de los resultados obtenidos (Rodrigo, 2012). Se llevó a cabo la recolección y análisis de datos mediante un formulario uniforme diseñado específicamente para este propósito. Este formulario abarcó aspectos como las características del estudio, las poblaciones de pacientes incluidas, las intervenciones farmacológicas evaluadas y los resultados obtenidos en relación con la eficacia del tratamiento (Morales, 2022).

**Preguntas de investigación**

En la Tabla 1, se detallan tres preguntas clave para la investigación, que guardaron una relación directa con el objetivo central del estudio y sirvieron como guía en la etapa exploratoria. El estudio consideró tres dimensiones esenciales: la dimensión innovadora, que responde a las distintas estrategias sostenibles aplicadas en los laboratorios clínicos como parte del cumplimiento del ODS 3; la dimensión de manejo sostenible con respecto a los factores que influyen en las estrategias sostenibles y finalmente, la dimensión tecnología como parte de las técnicas sostenibles para las instituciones de salud. Estas dimensiones, al ser analizadas conjuntamente, buscan no solo describir los procedimientos innovadores, sino que también ayudan a mejorar de forma significativa la calidad de atención brindada en los laboratorios clínicos a la par, ser organismos conscientes de su actividad y como la misma repercute con el medio ambiente.

N.	Pregunta	Motivación
RQ1	¿Cuáles son las principales estrategias innovadoras utilizadas para promover el manejo sostenible de los laboratorios clínicos?	Describir las diferentes estrategias innovadoras sostenibles y sus principales características.
RQ2	¿Cuáles son los principales factores que influyen en la implementación de estrategias innovadoras	Identificar los factores y desafíos que influyen en la implementación de las estrategias

	para el manejo sostenible de los laboratorios clínicos?	sostenibles en las instituciones de salud.
<b>RQ3</b>	¿Qué oportunidades emergentes ofrece la tecnología para mejorar aún más la sostenibilidad en los laboratorios clínicos y apoyar el cumplimiento del ODS 3?	Describir como la influencia de la tecnología y la innovación influyen en la mejora de las estrategias sostenibles aplicadas a los laboratorios clínicos.

**Tabla 1.** Preguntas de investigación

**Sistematización de la búsqueda y recolección de datos**

Con el fin de garantizar una revisión exhaustiva de la literatura científica más pertinente y reciente, se realizó una búsqueda sistemática de publicaciones desde 2018 hasta 2024. Este proceso de búsqueda se llevó a cabo utilizando una variedad de bases de datos y plataformas de publicación científica especializadas en áreas como las ciencias de la salud y la medicina. Entre estas fuentes se incluyeron Scopus, Proquest Salud, Springer, PubMed, Redalyc, Scielo, Web of Science, Embase, Cochrane Library y Google Scholar. Se consideraron estos recursos con el fin de obtener una amplia variedad de estudios empíricos, revisiones sistemáticas y metaanálisis, garantizando la incorporación de información precisa y actualizada. Los criterios específicos para incluir o excluir información en esta revisión se describen en detalle en la Tabla 2.

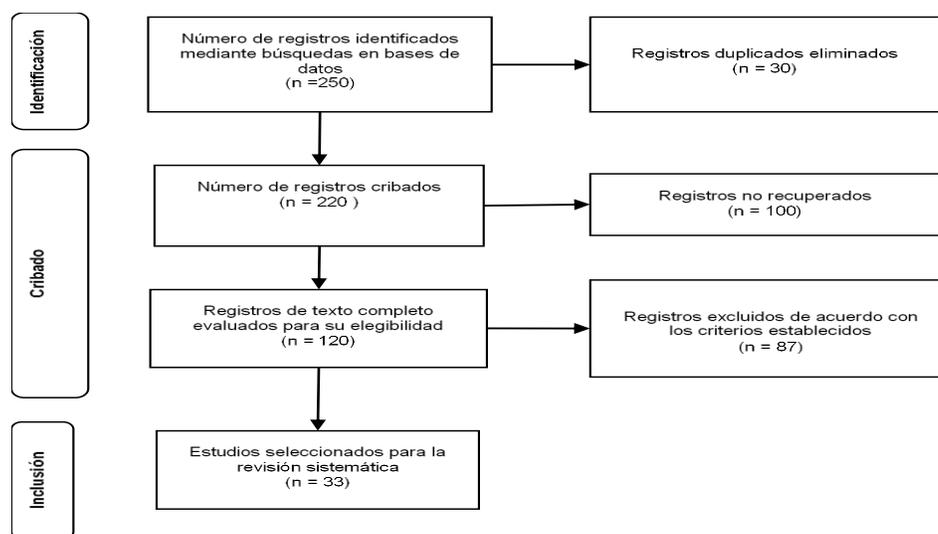
Para realizar una exhaustiva revisión de la literatura científica las estrategias innovadoras para el manejo sostenible de los laboratorios clínicos, se establecieron términos específicos clave que estuvieran en consonancia con los objetivos de la investigación. Para el Punto de Vista 1 (PV1), se utilizaron términos como: (“Innovative strategies” AND “Clinical laboratories”) , (“Green practices" OR AND “Clinical lab Operations”). En el Punto de Vista 2 (PV2), se seleccionaron términos como (“Innovative strategies" AND “Sustainable management” AND “Clinical laboratories”), (“Sustainability” AND “Clinical laboratories”) AND (“Implementation factors” OR “Influencing factors”). Finalmente, para el Punto de Vista 3 (PV3), se escogieron términos como (“Emerging technologies” AND “Clinical laboratories”). Se exploraron diversas combinaciones de estos términos clave en los motores de búsqueda para acceder a artículos relevantes que aportaran evidencia sobre el tema de estudio.

N.	Inclusión	Exclusión
C1	Artículos que se centren principalmente en estudio y análisis de las estrategias innovadoras para el manejo sostenible de los laboratorios clínicos.	Documentos con información redundante o altamente similar, para evitar la repetición y mejorar la calidad de la síntesis de datos.
C2	Publicaciones realizadas exclusivamente entre enero de 2018 y enero de 2024, para asegurar la actualidad y relevancia de los datos.	Artículos que no aborden acerca de las estrategias de sostenibilidad en instituciones de salud.
C3	Documentos incluidos en la revisión publicados en inglés o que cuenten con traducciones al inglés confirmadas por su confiabilidad, asegurando así la calidad y la comprensión del contenido.	Publicaciones procedentes de fuentes con bajo reconocimiento o impacto científico.
C4	Investigaciones que proporcionen datos empíricos originales o análisis detallados de casos	Estudios enfocados en áreas fuera del enfoque del tema de estudio.

**Tabla 2.** Criterios de inclusión y exclusión

**Selección de la información**

Durante el desarrollo de la revisión sistemática, se definieron y emplearon criterios exhaustivos para codificar y seleccionar los estudios pertinentes. Estos criterios abarcaron la identificación, la evaluación preliminar, la determinación de la elegibilidad y, por último, la inclusión de los estudios en el análisis. Para obtener una explicación más completa, se puede consultar la Figura 2.



**Figura 1.** Diagrama de flujo PRISMA

**Extracción de datos**

La Tabla 3 presenta los artículos identificados durante la búsqueda bibliográfica. Cada artículo fue examinado para extraer información relevante que pudiera responder a las preguntas de investigación planteadas. Posteriormente, se llevó a cabo una verificación exhaustiva de todas las referencias para garantizar su correcta ubicación y que contuvieran la información pertinente en relación con cada pregunta de investigación. Se siguieron las directrices PRISMA para organizar el resumen de los documentos revisados en cada fase del estudio.

N.	Título	Autor (es)	Objetivo/Caso
1	Revolutionizing healthcare: the role of artificial intelligence in clinical practice Año: 2023	Alowais, S. A., Alghamdi, S. S., Alsuhebany, N., Alqahtani, T. et al.	La IA revoluciona la salud, mejorando diagnósticos y tratamientos, y promoviendo la participación del paciente. Se destacan sus beneficios y desafíos éticos, evidenciando su potencial para optimizar la atención médica personalizada.
2	Corporate ESG reporting quantity, quality and performance: Where to now for environmental policy and practice Año: 2022	Arvidsson, S., & Dumay, J.	El estudio evaluó la relación entre estrategia corporativa y desempeño ESG en Suecia. Aunque la calidad de los informes mejoró, el desempeño se estancó en 2015, subrayando la necesidad de mejorar ESG.
3	Combining green energy technologies to electrify rural community of Wollega, Western Ethiopia Año: 2023	Benti, N. E., Mekonnen, Y. S., & Asfaw, A. A.	En Etiopía rural, con escasez de energía, se realizó un estudio de viabilidad para evaluar un sistema híbrido solar-eólico autónomo. Se determinó que la combinación PV/batería es la más rentable.
4	Clinical and Laboratory Approach to Diagnose COVID-19 Using Machine Learning. Año: 2022	Chadaga, K., Chakraborty, C., Prabhu, S., Umakanth, S., Bhat, V., & Sampathila, N.	El estudio aborda la detección del COVID-19 mediante pruebas de sangre y aprendizaje automático, destacando eosinófilos, monocitos, leucocitos y plaquetas como indicadores clave. Su objetivo es mejorar la precisión diagnóstica en emergencias pandémicas.
5	A review of hybrid renewable energy systems in mini-grids for off-grid electrification in developing countries. Año: 2021	Come Zebra, E. I., van der Windt, H. J., Nhumao, G., & Faaij, A. P. C.	En el estudio se analizaron sistemas de energía renovable híbridos para electrificación fuera de la red en comunidades rurales, resaltando la influencia de apoyo gubernamental y organización comunitaria en su éxito.
6	A review of wind turbines in complex terrain. Año: 2023	Elgendi, M., AlMallahi, M., Abdelkhalig, A., & Selim, M. Y. E.	El estudio se enfocó en entender mejor cómo los parques eólicos operan en terrenos complejos, buscando optimizar la recolección de energía eólica para un

			desarrollo sostenible.
7	Sourcing Technological Knowledge Through Foreign Inward Licensing to Boost the Performance of Indian Firms: The Contingent Effects of Internal R&D and Business Group Affiliation Año: 2020	Elia, S., Munjal, S., & Scalera, V. G.	Las empresas de mercados emergentes obtienen ventaja competitiva al adquirir conocimiento tecnológico extranjero mediante licencias, mejorando su desempeño financiero, especialmente si tienen fuerte actividad de I+D interna.
8	Design and Implementation of Clinical LIS360 Laboratory Management System Based on AI Technology. Año: 2023	Fu, Q., Lai, J., Zhong, T., & Ran, L	Se desarrolló un sistema de información de laboratorio (LIS) para automatizar y estandarizar el trabajo clínico. El objetivo fue mejorar la gestión y modernización del laboratorio, agilizando la entrega de resultados.
9	Social sustainability tensions in multi-tier supply chain: A systematic literature review towards conceptual framework development. Año: 2021	Govindan, K., Shaw, M., & Majumdar, A.	La revisión de 129 investigaciones resalta la importancia de la sostenibilidad social en cadenas de suministro, enfocándose en proveedores de alto nivel y subproveedores. Se identifican teorías, prácticas y barreras, señalando vacíos y proponiendo un marco conceptual.
10	Medical 4.0 technologies for healthcare: Features, capabilities, and applications. Año: 2022	Haleem, A., Javaid, M., Pratap Singh, R., & Suman, R.	La Revolución Industrial 4.0 impacta la salud con avances médicos rápidos y efectivos, democratizando el acceso a servicios de salud. Su implementación progresiva busca mejorar la atención y tratamientos centrados en el paciente.
11	Opportunities and Risks of UK Medical Device Reform Año: 2022	Han, J. E. D., Ibrahim, H., Aiyegbusi, O. L., Liu, X., Marston, E., Denniston, A. K., & Calvert, M. J.	Se identificaron oportunidades y riesgos en la reforma regulatoria de dispositivos médicos en el Reino Unido. Se recomienda colaboraciones amplias y compromiso internacional para mitigar riesgos y maximizar oportunidades.
12	Utilization of a waste audit at a community hospital emergency department to quantify waste production and estimate environmental impact. Año: 2021	Hsu, S., Banskota, S., McCormick, W., Capacci, J., Bustamante, C., Moretti, K., Wiegand, D., & Martin, K. D.	Se realizó una auditoría de residuos en el Departamento de Emergencias de un hospital comunitario suburbano para identificar contenido de residuos y mejorar disposición, reduciendo emisiones de carbono y costos.
13	Clinical application of intelligent technologies and integration in medical laboratories. Año: 2022	Huang, W., Huang, D., Ding, Y., Yu, C., Wang, L., Lv, N., Qu, J., & Lu, H.	Con el avance tecnológico, los laboratorios médicos adoptaron tecnologías inteligentes para mejorar eficiencia y precisión en diagnósticos, promoviendo atención personalizada y detección temprana de enfermedades.
14	Renewable and sustainable clean energy development and impact on social, economic, and environmental health. Año: 2022	Jaiswal, K. K., Chowdhury, C. R., Yadav, D., Verma, R., Dutta, S., Jaiswal, K. S., SangmeshB, &	El trabajo se centró en la necesidad de energías renovables para mitigar el cambio climático y promover el desarrollo económico y social. Se examinaron tecnologías avanzadas para

		Karuppasamy, K. S. K.	maximizar su potencial y se destacaron los beneficios ambientales y económicos.
15	Relationship between nurse burnout, patient and organizational outcomes: Systematic review. Año: 2021	Jun, J., Ojemeni, M. M., Kalamani, R., Tong, J., & Crecelius, M. L.	El estudio revisó 20 investigaciones para examinar cómo el agotamiento afecta la seguridad y calidad del paciente, compromiso organizacional y satisfacción laboral de enfermeros.
16	Prevalence of typical operational problems and energy savings opportunities in U.S. commercial buildings. Año: 2021	Katipamula, S., Underhill, R. M., Fernandez, N., Kim, W., Lutes, R. G., & Taasevigen, D.	Se analizaron datos de 151 edificios en EE. UU. para identificar problemas operativos comunes y oportunidades de mejora energética. Se destacaron acciones correctivas implementadas y ahorros energéticos significativos.
17	Enhancing employees information security awareness in private and public organisations: A systematic literature review. Año: 2021	Khando, K., Gao, S., Islam, S. M., & Salman, A.	En este estudio, se investiga la importancia de la conciencia en seguridad de la información (ISA) de los empleados. Se revisan métodos y factores para mejorarla en organizaciones públicas y privadas.
18	Robotic Waste Sorter With Agile Manipulation and Quickly Trainable Detector Año: 2021	Kiyokawa, T., Katayama, H., Tatsuta, Y., Takamatsu, J., & Ogasawara, T.	Ante la escasez de mano de obra, se busca automatizar la clasificación de residuos para sustituir funciones humanas con robots. Se proponen tres métodos para la detección y manipulación ágil de objetos.
19	Using machine learning methods to predict in-hospital mortality of sepsis patients in the ICU. Año: 2020	Kong, G., Lin, K., & Hu, Y.	Este estudio desarrolló herramientas de aprendizaje automático para predecir el riesgo de muerte hospitalaria en pacientes con sepsis en unidades de cuidados intensivos. El modelo de gradient boosting machine (GBM) mostró la mejor capacidad predictiva.
20	Impact of Green financing, FinTech, and financial inclusion on energy efficiency Año: 2022	Liu, H., Yao, P., Latif, S., Aslam, S., & Iqbal, N.	En el pasado, se investigaron técnicas financieras como financiamiento verde, inclusión financiera y tecnología financiera para mejorar la eficiencia energética en economías E7. El financiamiento verde destacó como el más efectivo.
21	Decoding digital transformational outsourcing: The role of service providers' capabilities Año: 2021	Mazumder, S., & Garg, S	En el pasado, se estudió la disrupción en la industria de outsourcing, identificando seis capacidades dinámicas clave para proveedores de servicios en la transformación digital.
22	Growth, Engagement, and Belonging in the Clinical Learning Environment: the Role of Psychological Safety and the Work Ahead Año: 2022	McClintock, A. H., & Fainstad, T.	La seguridad psicológica en educación médica promueve el aprendizaje y la inclusión. Este estudio identifica barreras y propone cambios para fomentar un ambiente seguro y de aprendizaje inclusivo.

23	Why is school leadership key to transforming education? Structural and cultural assumptions for quality education in diverse contexts. <b>Año: 2022</b>	Mincu, M.	El artículo aborda la importancia de reconocer el liderazgo en la educación equitativa. Destaca que el cambio efectivo requiere liderazgo organizado y visiones colectivas, no solo acciones individuales de los maestros.
24	Cutting-edge technology and automation in the pathology laboratory. <b>Año: 2023</b>	Munari, E., Scarpa, A., Cima, L., Pozzi, M., Pagni, F., Vasuri, F., Marletta, S., Dei Tos, A. P., & Eccher, A.	La estandarización de prácticas de laboratorio en patología busca mejorar la precisión diagnóstica y atención al paciente mediante tecnologías innovadoras.
25	Healthcare waste characteristics and management in Kumasi, Ghana. <b>Año: 2021</b>	Oduro-Kwarteng, S., Addai, R., & Essandoh, H. M. K.	En un estudio en Kumasi, Ghana, se evaluaron prácticas de manejo de desechos médicos. Se hallaron tasas de generación altas y falta de cumplimiento con estándares internacionales.
26	Evolution of Blood Sample Transportation and Monitoring Technologies <b>Año: 2021</b>	Patel, K., El-Khoury, J. M., Simundic, A.-M., Farnsworth, C. W., Broell, F., Genzen, J. R., & Amukele, T. K.	Durante la pandemia de COVID-19, la necesidad de pruebas accesibles impulsó asociaciones entre gigantes minoristas y laboratorios, facilitando el transporte de muestras con drones a zonas remotas.
27	Machine learning in the clinical microbiology laboratory: has the time come for routine practice? <b>Año: 2020</b>	Peiffer-Smadja, N., Dellière, S., Rodriguez, C., Birgand, G., Lescure, F.-X., Fourati, S., & Ruppé, E	En el pasado, se exploró el uso de aprendizaje automático (ML) en microbiología clínica, centrado en sistemas para detectar infecciones bacterianas, virales, parasitarias y fúngicas, con datos diversos.
28	A global overview of healthcare workers' turnover intention amid COVID-19 pandemic: a systematic review with future directions. <b>Año: 2022</b>	oon, Y.-S. R., Lin, Y. P., Griffiths, P., Yong, K. K., Seah, B., & Liaw, S. Y	Durante la pandemia de COVID-19, se investigaron factores que afectan la intención de renuncia de trabajadores de salud. Se concluyó que condiciones laborales adversas y apoyo organizacional influyen significativamente.
29	Environmental footprint of regular and intensive inpatient care in a large US hospital. <b>Año: 2022</b>	Prasad, P. A., Joshi, D., Lighter, J., Agins, J., Allen, R., Collins, M., Pena, F., Velletri, J., & Thiel, C.	Este estudio cuantificó las emisiones de residuos sólidos y gases de efecto invernadero por día de cama en una unidad de cuidados intensivos y una de atención aguda.
30	Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070 <b>Año: 2020</b>	Rissman, J., Bataille, C., Masanet, E., Aden, N., Morrow, W. R., Zhou, N., Elliott, N., Dell, R., Heeren, N, et al.	El objetivo del estudio era lograr la descarbonización completa de la industria global para estabilizar el clima, identificando medidas técnicas y políticas para alcanzar emisiones netas cero.
31	Laboratory-Developed Tests: Design of a Regulatory Strategy in Compliance with the International State-of-the-Art and the Regulation (EU) 2017/746 (EU IVDR [In Vitro Diagnostic Medical Device Regulation]). <b>Año: 2022</b>	Spitzenberger, F., Patel, J., Gebuhr, I., Kruttwig, K., Safi, A., & Meisel, C	El estudio desarrolló una estrategia regulatoria para la conformidad de pruebas desarrolladas en laboratorio (LDTs) con la regulación UE-IVDR, analizando requisitos internacionales y proponiendo un concepto armonizado internacionalmente.
32	Lifecycle of surgical devices:	Wahlstedt, E. R.,	En países de ingresos bajos y medios,

	Global, environmental, and regulatory considerations. Año: 2024	Wahlstedt, J. C., Rosenberg, J. S., & deVries, C. R.	regulaciones dispares y falta de armonización dificultan la gestión sostenible de suministros médicos, afectando el acceso a equipos quirúrgicos de calidad.
33	How and under what circumstances do quality improvement collaboratives lead to better outcomes? A systematic review Año: 2020	Zamboni, K., Baker, U., Tyagi, M., Schellenberg, J., Hill, Z., & Hanson, C.	El estudio analizó factores contextuales y mecanismos en colaborativas de mejora de la calidad en salud, destacando su impacto en la adherencia a prácticas basadas en evidencia.

**Tabla 3.** Artículos seleccionados

**RQ1. ¿Cuáles son las principales estrategias innovadoras utilizadas para promover el manejo sostenible de los laboratorios clínicos?**

Las estrategias para el manejo sostenible de laboratorios clínicos han surgido como respuesta a la variación en las prácticas actuales y la falta de conciencia sobre su impacto ambiental y social, con el objetivo de transformar la prestación de servicios médicos de laboratorio. La gestión sostenible implica organizar y coordinar actividades para garantizar su continuidad a largo plazo mientras se alcanzan objetivos claros y definidos. Este enfoque, definido como la mejora continua del rendimiento económico, social y medioambiental de una organización, se vuelve cada vez más relevante en los laboratorios clínicos. A pesar de que el impacto social y medioambiental de la medicina de laboratorio ha sido subestimado hasta la fecha, es significativo, como se evidencia en el aumento masivo en el número de pruebas de laboratorio realizadas en los últimos años y su papel fundamental en las decisiones médicas relacionadas con el ingreso hospitalario, el alta y la prescripción (Khando et al., 2021a).

Aunque estos datos ponen de relieve la importancia de la medicina de laboratorio en la asistencia sanitaria moderna, también indican la necesidad urgente de garantizar que estas pruebas aporten un valor real a los pacientes y de mejorar la eficiencia. Además, a medida que la prestación de asistencia sanitaria se centraliza y globaliza cada vez más, se ha hecho imperativo considerar el impacto medioambiental más amplio de las pruebas de laboratorio. Todas estas cuestiones representan ámbitos en los que la gestión sostenible puede ser beneficiosa para los laboratorios clínicos. La estricta legislación medioambiental de los últimos años ha llevado a reclamar una gestión sostenible en todos los ámbitos de la

asistencia sanitaria. Los laboratorios clínicos se han visto sometidos a escrutinio al percibirse que su impacto en el medio ambiente es sustancial. Prueba de ello es que los laboratorios producen entre 0,56 y 7,71 kg de residuos por paciente y día y consumen 2,5 veces más energía por metro cuadrado que cualquier otra zona del hospital (Poon et al., 2022a).

Esto pone el problema en perspectiva: si no se consigue la sostenibilidad de los laboratorios, serán los pacientes y los enfermos los que sufrirán las consecuencias, ya que aumentarán los costes sanitarios y se detraerán fondos de áreas sanitarias para destinarlos a cumplir la legislación medioambiental en otros ámbitos. No hay que subestimar las repercusiones negativas de la falta de sostenibilidad de los laboratorios en otros ámbitos de la asistencia sanitaria. Un ejemplo es el cierre del laboratorio de patología de un hospital británico para ahorrar costes, lo que provocó retrasos en el diagnóstico y comprometió la atención al paciente. Más tarde, el laboratorio volvió a abrir al considerarse que el cierre había sido un falso ahorro. De este modo se entiende que un laboratorio clínico sostenible debe ser económicamente viable y tener un bajo impacto en el medio ambiente (Khando et al., 2021b).

### **Equipos Energéticamente Eficientes**

Para mejorar la eficiencia energética en laboratorios, es fundamental actualizar el equipo con tecnología más avanzada y menos consumidora de energía, especialmente en casos como los congeladores, donde los modelos antiguos suelen utilizar tecnología obsoleta y consumen grandes cantidades de energía debido al uso de gases como los CFC. La consideración de los costos de funcionamiento a largo plazo al adquirir nuevos equipos es esencial para garantizar la sostenibilidad económica y energética del laboratorio. Además, se debe abordar el problema del consumo de energía en los modos de espera, como el funcionamiento continuo de refrigeradores y congeladores, mediante el desarrollo de modos de ahorro de energía que permitan un acceso rápido al equipo cuando sea necesario, evitando el desperdicio innecesario de energía. Controlar la temperatura de los equipos y las habitaciones también es crucial para minimizar el consumo energético asociado con la calefacción y refrigeración del laboratorio (Khando et al., 2021b).

Los dispositivos médicos implantables activos (AIMD) como los marcapasos cardíacos son esenciales en la atención médica moderna, proporcionando tratamientos que salvan vidas

para una población de pacientes en constante aumento. Sin embargo, estos dispositivos funcionan con baterías que tienen una vida útil limitada, lo que requiere reemplazos quirúrgicos periódicos. Con un consumo medio de energía de aproximadamente 8 a 35 W por dispositivo, y una tasa anual de implantes en el Reino Unido que supera los 32.000 dispositivos, se prevé un aumento sustancial en el consumo de energía de AIMD. Una alternativa sería proporcionar energía a los AIMD mediante una fuente externa, reduciendo la necesidad de reemplazos quirúrgicos y el consumo total de energía a largo plazo (Poon et al., 2022b).

### **Sistemas de Gestión de Residuos**

Uno de los aspectos más cruciales y aún poco abordados por todos los laboratorios del mundo son los residuos generados. Un estudio reciente realizado en Australia informó que los desechos de laboratorio aumentaron un 110% en un período de 14 años. Aunque los datos son específicos de Australia, se aplicarían estadísticas similares a todos los países industrializados. Sin embargo, el aumento porcentual de los residuos de la población general en Australia fue sólo del 21%. La Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA) afirma que el costo de la eliminación ambientalmente segura de desechos peligrosos es entre 20 y 60 veces más caro en comparación con el costo de la eliminación de desechos generales. Esto sugiere que es necesario un plan más centrado en el reciclaje y la reutilización de productos de desecho en el laboratorio, y también en la reducción de la cantidad de residuos generados. Un plan eficaz de gestión de residuos incluye la reducción general de los residuos generados, el reciclaje de subproductos reutilizables y la eliminación eficaz de los residuos que no se pueden reciclar. Esto se puede aplicar utilizando un sistema similar a la iniciativa The Green Labs, que tiene su sede en la Universidad de California, EE. UU. Siguiendo la jerarquía de residuo cero, este programa ha diseñado su sistema de gestión de residuos basándose en los principios de sostenibilidad (Jun et al., 2021).

### **Optimización del Procesamiento de Muestras**

El concepto de automatizar el procesamiento de todas las muestras es una solución sencilla, pero en realidad sigue siendo un objetivo ambicioso. Sin embargo, existen varios cambios en las prácticas laborales y soluciones de hardware de bajo costo que pueden facilitar un entorno en el que sea menos probable que se produzcan errores. El personal es el recurso

más caro y la mayoría de los errores ocurren en momentos de mucho estrés, cuando el personal está siendo llevado al límite. Las altas tasas de error en el procesamiento de muestras a menudo se aceptan como un hecho desafortunado de la vida en estos momentos. Se debe alentar al personal a administrar su tiempo de manera más efectiva y posiblemente relajar las expectativas de los médicos sobre el tiempo de respuesta de las pruebas para lograr un objetivo más alcanzable. Una distribución uniforme de la carga de trabajo es un escenario ideal y el uso de tableros de seguimiento digitales y muestras con códigos de barras puede ayudar a lograrlo. Hay paquetes de software disponibles que utilizan pedidos inteligentes para monitorear dinámicamente la prioridad de las pruebas y redistribuir el trabajo cuando los recursos lo permitan (Zamboni et al., 2020a).

**RQ2. ¿Cuáles son los principales factores que influyen en la implementación de estrategias innovadoras para el manejo sostenible de los laboratorios clínicos?**

Los servicios de laboratorio clínico son componentes importantes del desarrollo nacional y contribuyen significativamente a la seguridad y la atención de los pacientes. La gestión de los servicios de laboratorio clínico tiene un impacto directo en la calidad del servicio. Implementar estrategias innovadoras es esencial para mejorar la calidad, reducir costos y optimizar la satisfacción paciente-cliente para satisfacer la demanda global de servicios de laboratorio clínico. La carga de trabajo y las responsabilidades cada vez mayores que asumen los profesionales de los laboratorios médicos requieren que la propia profesión se adapte al cambiante entorno sanitario (Khando et al., 2021c).

La implementación de estrategias innovadoras para la gestión de laboratorios clínicos tiene una alta tasa de fracaso. La razón radica en una planificación poco clara y superficial, en el desprecio por la dificultad del cambio, en la falta de recursos y en un liderazgo poco comprometido. Las altas expectativas de resultados inmediatos y un rápido retorno de la inversión también son obstáculos. Un estudio realizado por Chao, R. et al concluyó que sólo el 25% de 100 hospitales que participaron en el grupo focal lograron implementar lo que habían planeado. La imposibilidad de implementar o sostener los cambios a menudo es causada por factores externos o internos que distinguen antes de la implementación y durante la implementación. Estos factores son la raíz de los desafíos que dificultan que se produzca un cambio. Esta investigación ahora explorará los desafíos en la implementación de estrategias innovadoras según la literatura de diversos estudios (Poon et al., 2022b).

### **Factores Externos**

Los estándares regulatorios y el cumplimiento de la ley son fundamentales para garantizar la calidad y seguridad de las pruebas de laboratorio clínico. Estos estándares impactan todas las fases del proceso de prueba y buscan asegurar la calidad y seguridad en todas las etapas, desde la preparación previa al análisis hasta la entrega de resultados. Sin embargo, el cumplimiento continuo de estas normativas es necesario, ya que algunos estándares pueden no estar basados en evidencia o estar desactualizados, lo que puede resultar en exclusiones de pruebas debido a restricciones de costos o complejidades en el cumplimiento. Las actividades de cumplimiento continuo establecen un estándar para los laboratorios y las acciones correctivas en caso de incumplimiento son cruciales para mejorar y garantizar la calidad y seguridad pública (Han et al., 2022; Wahlstedt et al., 2024).

Los requisitos y directrices reglamentarios, tanto formales como informales, tienen un impacto crucial en la adopción e implementación de estrategias innovadoras para la gestión sostenible de los laboratorios clínicos. La amplia gama de regulaciones, provenientes de diversas entidades gubernamentales y no gubernamentales, genera desafíos para los directores de laboratorios al determinar las acciones necesarias para el cumplimiento. Aunque algunas regulaciones pueden generar temor a las inspecciones y actuar como barreras para el cambio, es importante recordar que su objetivo es mejorar la calidad y seguridad del paciente. A menudo, es posible obtener exenciones de ciertos requisitos para pilotar nuevas estrategias, siempre y cuando no se comprometa la seguridad del paciente, lo que resalta la necesidad de comprender profundamente los requisitos específicos al intentar innovar y buscar soluciones alternativas en colaboración con las autoridades reguladoras pertinentes (Spitzenberger et al., 2022).

Los avances tecnológicos en equipos analíticos y de pruebas han revolucionado las operaciones de los laboratorios clínicos, permitiendo una rápida mejora en la tecnología de diagnóstico clínico y la automatización de procedimientos. Esto ha liberado tiempo del personal para actividades más estratégicas y ha abierto oportunidades para subcontratar partes de las pruebas. Sin embargo, la decisión de implementar estos cambios depende del contexto específico y la disposición para adaptarse. Además, la tendencia hacia pruebas de diagnóstico clínico en dispositivos de atención al paciente plantea cuestiones sobre la eficiencia y calidad de los servicios, sugiriendo que el respaldo del laboratorio clínico

central podría ser estratégicamente prudente para garantizar una interpretación adecuada de los resultados y brindar apoyo experto en áreas específicas (Alowais et al., 2023a; Haleem et al., 2022).

La subcontratación en la industria de la salud, incluidos los laboratorios clínicos, es una estrategia común para obtener experiencia y recursos que pueden no estar disponibles internamente. Esto puede implicar trabajar con empresas globales y equipos multinacionales, lo que requiere competencia intercultural y habilidades de comunicación. Para mantenerse competitivas, las empresas deben mantenerse actualizadas con las tendencias del mercado y demostrar rentabilidad y calidad en los servicios ofrecidos. Sin embargo, las limitaciones surgen de la dificultad para monitorear y adaptarse a las tendencias, lo que puede resultar en costos de oportunidad elevados. A pesar de esto, adoptar mejores prácticas y tecnologías puede ofrecer oportunidades para mejorar la eficiencia y la calidad de los servicios ofrecidos en los laboratorios clínicos y la atención médica en general (Elia et al., 2020; Mazumder & Garg, 2021).

### **Factores Internos**

La cultura organizacional y el liderazgo en una institución son fundamentales para influir en la implementación de una estrategia innovadora sostenible. En una institución con una fuerte cultura jerárquica y de culpabilidad, es menos probable que se implemente la innovación. Esto se debe a que los proyectos innovadores a menudo fracasan y, sin un entorno en el que el personal de nivel inferior sienta que puede expresar sus inquietudes con sinceridad, es probable que el proyecto se enfrente a problemas graves. Si la cultura es abierta y justa, es más probable que el personal plantee tempranamente inquietudes que puedan abordarse, y es más probable que el proyecto cambie para superar cualquier problema (McClintock & Fainstad, 2022; Mincu, 2022)

La disponibilidad de recursos financieros y el respaldo de los patrocinadores del proyecto son elementos cruciales para la implementación efectiva de estrategias innovadoras en laboratorios clínicos y servicios de salud. La cultura de reducción de costos en el sector dificulta la asignación de fondos para proyectos de sostenibilidad, lo que impacta negativamente en la capacidad de impulsar prácticas más sostenibles. En entornos con recursos limitados, los proyectos deben contar con un sólido argumento comercial y un

respaldo claro de los patrocinadores para asegurar su éxito, ya que la falta de recursos puede obstaculizar su viabilidad y ejecución (Govindan et al., 2021; Liu et al., 2022).

La cultura organizacional juega un papel fundamental en el éxito de la implementación de nuevos sistemas, siendo influenciada por el proceso de aprendizaje grupal y los comportamientos compartidos. El liderazgo desempeña un papel crucial en la conducción del cambio cultural, requiriendo una visión clara y una coalición de líderes en todos los niveles de gestión del laboratorio. Además, el estilo de liderazgo tiene un impacto significativo en el clima de seguridad, que es crucial para fomentar la revelación de errores y la mejora continua en los laboratorios clínicos. La evaluación del clima de seguridad y la cultura organizacional son importantes para identificar áreas de mejora y facilitar la implementación efectiva de cambios para prevenir errores y mejorar la calidad del servicio (Zamboni et al., 2020b).

La capacitación del personal es esencial para implementar nuevas estrategias y mejorar la calidad y rendimiento en las operaciones del laboratorio clínico. Esta formación no solo promueve una cultura más sostenible, sino que también proporciona claridad sobre la visión estratégica tanto para la dirección como para el personal. Se reconoce que la formación es un proceso continuo que debe adaptarse y evolucionar con la organización, incluyendo la contratación de personal recién graduado y el uso de herramientas como juegos de simulación y aprendizaje electrónico. El acceso a recursos en línea y la participación en eventos de la industria también son elementos clave para la capacitación efectiva del personal en los laboratorios clínicos (Arvidsson & Dumay, 2022).

### **RQ3. ¿Qué oportunidades emergentes ofrece la tecnología para mejorar aún más la sostenibilidad en los laboratorios clínicos y apoyar el cumplimiento del ODS 3?**

Las tecnologías de automatización y robótica también tienen potencial para reducir los desechos de laboratorio, al hacer un uso más eficiente de los materiales y proporcionar métodos más seguros y eficaces para la eliminación de desechos. Un estudio europeo de Chevalier et al. compararon tres escenarios que predicen ahorros potenciales de energía y gases de efecto invernadero mediante el uso de la automatización en microbiología clínica. Aunque varían mucho según el escenario, los posibles ahorros anuales de energía oscilaron entre el 20% y el 80%, y los ahorros potenciales de gases de efecto invernadero oscilaron entre el 30% y el 80%. Un estudio americano de Rajan et al. El uso de un sistema robótico

para la preparación de alícuotas de muestras de suero mostró una reducción significativa en el volumen muerto de suero con un potencial ahorro de costos anual de hasta \$250 000 (Alowais et al., 2023b).

La automatización del laboratorio es una tecnología avanzada con el potencial de disminuir en gran medida el uso de energía y materiales en los laboratorios clínicos. El procesamiento manual actual de muestras requiere mucha mano de obra y recurso, por lo tanto, la tecnología proporciona un medio para reducir en gran medida los tiempos de procesamiento de muestras y la cantidad de recursos utilizados.

La robótica mejora aún más esta situación, ya que se están desarrollando robots capaces de procesar muestras y rastrear y recuperar artículos. Aunque puede pasar algún tiempo antes de que los robots sean capaces de realizar tales tareas con un estándar en el que no se requiera la participación humana, existe el potencial de reducir en gran medida el uso de energía y recursos (Katipamula et al., 2021).

El impulso a la sostenibilidad en los laboratorios clínicos ha desencadenado el desarrollo de diversas tecnologías con un potencial considerable. Estas tecnologías prometen cambiar las prácticas actuales en los laboratorios clínicos, proporcionando los medios para lograr la sostenibilidad mediante la reducción del uso de energía y materiales, los residuos y, en última instancia, reducir el impacto ambiental. A continuación, se proporciona un breve resumen de las tecnologías emergentes y su potencial sostenibilidad (Kiyokawa et al., 2021).

### **Automatización de Laboratorio y Robótica**

La inteligencia artificial desempeña un papel crucial en este escenario a través de la técnica de integración de sistemas, que conecta instrumentos y módulos pre y post analíticos para dirigir muestras a la ubicación adecuada para el análisis y las decisiones clínicas. Un coordinador de IA, ya sea software o un dispositivo robótico, sigue un algoritmo y registra los datos mediante un número de identificación de muestra, lo que ayuda a evitar errores. Esta integración es particularmente importante en entornos clínicos modernos con análisis complejos que requieren la distribución de muestras a laboratorios especializados, como la citometría de flujo y el diagnóstico molecular (Fu et al., 2023; Patel et al., 2021).

La automatización de laboratorio, apoyada por principios de Inteligencia Artificial (IA) e ingeniería, se enfoca en la manipulación eficiente de muestras e instrumentos. Aunque no

es un concepto nuevo en el ámbito sanitario, ha evolucionado desde la mecanización temprana de analizadores hacia sistemas más complejos, como robots programados para manejar elementos como viales criogénicos. Esta evolución demuestra el continuo desarrollo tecnológico en la automatización de procesos en laboratorios clínicos (Huang et al., 2023; Munari et al., 2023).

### **Digitalización y Análisis de Datos**

La gestión eficiente de datos en laboratorios clínicos ofrece una variedad de oportunidades para mejorar la sostenibilidad. Los sistemas de gestión de información de laboratorio (LIMS) almacenan y transmiten datos electrónicos, que pueden ser analizados para identificar pruebas de alto volumen, gestionar costos y construir modelos predictivos de resultados de pacientes. Por ejemplo, el uso de métodos de aprendizaje automático ha permitido la creación de modelos predictivos para resultados a largo plazo después de trasplantes de riñón, basados en datos históricos de pacientes. Además, los datos de ensayos clínicos controlados son esenciales para la investigación en sistemas de salud, pero requieren un almacenamiento a largo plazo y medidas sólidas de seguridad y confidencialidad (Chadaga et al., 2022; Peiffer-Smadja et al., 2020).

La seguridad y confidencialidad de los datos del paciente son fundamentales en todas estas aplicaciones, lo que resalta la importancia de establecer marcos sólidos de gobernanza de datos. La interconexión de datos con otros conjuntos, como los registros de enfermedades, puede ampliar aún más el valor de la investigación en salud. En resumen, el análisis de datos en laboratorios clínicos ofrece un potencial significativo para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia en la atención médica, siempre y cuando se aborden adecuadamente los desafíos relacionados con la seguridad y la gestión de datos (Kong et al., 2020).

### **Integración de Energías Renovables**

La transición de los laboratorios clínicos hacia fuentes de energía renovable se vislumbra como una posibilidad realista, dado el descenso de los costos de la energía renovable en comparación con la energía fósil en algunos países y su potencial paridad en los próximos años. Aunque actualmente pocos laboratorios han adoptado esta alternativa, existe un interés considerable en hacerlo, especialmente debido a los potenciales ahorros de costos que podría implicar. Sin embargo, la viabilidad de este cambio depende en gran medida de

la ubicación y el modelo de financiamiento del laboratorio, siendo más desafiante para los grandes laboratorios urbanos y más accesible para los más pequeños (Elgendi et al., 2023). La integración efectiva de energía renovable en los laboratorios clínicos podría mejorar significativamente con el desarrollo de redes inteligentes en un futuro próximo. Estas redes podrían facilitar la implementación de dispositivos de almacenamiento de energía que optimicen el uso de energía en función de los costos, permitiendo, por ejemplo, el almacenamiento y uso de energía solar durante períodos de menor costo energético. Además, sistemas de gestión de laboratorios (LIMS) más avanzados podrían coordinar el funcionamiento de equipos de alta demanda energética para que coincida con los períodos de energía más económicos, potencialmente automatizando el uso eficiente de la energía de manera inteligente (Benti et al., 2023; Jaiswal et al., 2022).

### **IoT y Tecnologías de Sensores**

Las tecnologías de sensores y IoT ofrecen una manera innovadora de mejorar la eficiencia energética en los laboratorios clínicos al proporcionar información en tiempo real sobre el consumo de energía y la identificación de equipos energéticamente ineficientes. Esta capacidad permite tomar medidas correctivas, como la actualización de equipos, lo que conduce a una reducción en los requisitos energéticos del laboratorio y la mejora de la sostenibilidad a largo plazo. Además, estas tecnologías tienen el potencial de revolucionar la gestión de residuos en los laboratorios clínicos al ofrecer sistemas de seguimiento y monitoreo para la producción y eliminación de desechos, respaldando así prácticas de gestión sostenible y reduciendo la carga ambiental asociada con la eliminación de desechos médicos (Hsu et al., 2021).

La capacidad de las tecnologías de sensores y IoT para automatizar el control de dispositivos energéticos y monitorear los efectos de los proyectos de gestión energética y de residuos ofrece un enfoque integral para mejorar la sostenibilidad en los laboratorios clínicos. Al proporcionar datos precisos y en tiempo real, estas tecnologías permiten la toma de decisiones informadas y la implementación de medidas eficaces para reducir el consumo de energía y minimizar la producción y eliminación de desechos, lo que contribuye significativamente al objetivo de lograr una gestión más sostenible y eficiente en el sector de la salud (Oduro-Kwarteng et al., 2021).

En general, en los países desarrollados, la adopción de tecnologías más nuevas puede mejorar la atención y seguridad del paciente, pero los equipos antiguos a menudo requieren reparaciones frecuentes, agotando recursos. Por ello, donar equipos funcionales a países en desarrollo ofrece una segunda fase de uso útil, reduciendo la carga financiera y ambiental. Esto demuestra que el apoyo a países en desarrollo puede ser una fase de uso útil directa e indirecta para mejorar la sostenibilidad y reducir el impacto negativo en el medio ambiente. La implementación de tecnologías sostenibles en laboratorios clínicos, como dispositivos energéticamente eficientes y procesos menos tóxicos, puede mejorar la calidad de los diagnósticos y reducir el impacto ambiental, aunque requiere inversión inicial, los beneficios a largo plazo, como menores facturas de servicios públicos y una huella de carbono reducida, son evidentes (Rissman et al., 2020).

Los laboratorios clínicos enfrentan la presión constante de reducir costos mientras mantienen altos estándares de eficiencia. En este sentido, la automatización ha demostrado ser una solución efectiva, permitiendo el manejo eficiente de grandes volúmenes de muestras con mínima intervención humana. Los sistemas de automatización total, aunque costosos, prometen mejorar la eficiencia y reducir errores en todas las fases de las pruebas de laboratorio. Sin embargo, la rentabilidad de estos sistemas puede llevar algún tiempo en justificarse. Por otro lado, la telemedicina está emergiendo como una opción para hacer que las pruebas de laboratorio sean más accesibles y convenientes ya que esto no solo ahorra tiempo y dinero a los pacientes, sino que también libera la capacidad de pruebas internas en hospitales para pacientes con necesidades agudas (Come Zebra et al., 2021; Prasad et al., 2022).

## **CONCLUSIONES**

En conclusión, la sostenibilidad en los laboratorios clínicos representa un desafío multifacético que abarca desde la eficiencia energética y la gestión de residuos hasta la optimización del procesamiento de muestras y la implementación de prácticas de reciclaje. Las estrategias innovadoras para promover el manejo sostenible de los laboratorios clínicos, como la adopción de equipos energéticamente eficientes, sistemas avanzados de gestión de residuos, y la optimización del procesamiento de muestras, son fundamentales para mitigar el impacto ambiental y social de estas instalaciones críticas para la salud. Además, la

implementación de tales estrategias enfrenta obstáculos tanto externos, incluidos los reglamentarios y tecnológicos, como internos, como la cultura organizacional y la disponibilidad de recursos financieros.

Las oportunidades emergentes que ofrece la tecnología, especialmente en automatización y robótica, digitalización y análisis de datos, integración de energías renovables, e IoT y tecnologías de sensores, presentan soluciones prometedoras para superar estos desafíos. Estas innovaciones no solo pueden mejorar la eficiencia y reducir los costos, sino que también pueden apoyar el cumplimiento de objetivos globales de desarrollo sostenible, particularmente el ODS 3, que se enfoca en garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos. A medida que avanzamos hacia un futuro más sostenible, es crucial que los laboratorios clínicos adopten estas tecnologías y estrategias innovadoras, no solo para minimizar su huella ambiental sino también para mejorar la calidad y eficiencia de los servicios que prestan. La colaboración entre los desarrolladores de tecnología, los responsables de políticas, y los profesionales de laboratorio será clave para implementar soluciones efectivas y sostenibles que aborden las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Al Agily, A., Homadi, A., Al Shehru, A., Al Harbi, A., Al Juma, M., & Al Shuwairkh, H. (2022). Strategies for Effective Medical Laboratory Management: A Comprehensive Guide. *International Journal of Bio-Medical Informatics and e-Health*, 10(6), 132–139. <https://doi.org/10.30534/ijbmieh/2022/211062022>
- Alowais, S. A., Alghamdi, S. S., Alsuhebany, N., Alqahtani, T., Alshaya, A. I., Almohareb, S. N., Aldairem, A., Alrashed, M., Bin Saleh, K., Badreldin, H. A., Al Yami, M. S., Al Harbi, S., & Albekairy, A. M. (2023a). Revolutionizing healthcare: the role of artificial intelligence in clinical practice. *BMC Medical Education*, 23(1), 689. <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04698-z>
- Alowais, S. A., Alghamdi, S. S., Alsuhebany, N., Alqahtani, T., Alshaya, A. I., Almohareb, S. N., Aldairem, A., Alrashed, M., Bin Saleh, K., Badreldin, H. A., Al Yami, M. S., Al Harbi, S., & Albekairy, A. M. (2023b). Revolutionizing healthcare: the role of

- artificial intelligence in clinical practice. *BMC Medical Education*, 23(1), 689. <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04698-z>
- Arvidsson, S., & Dumay, J. (2022). Corporate ESG reporting quantity, quality and performance: Where to now for environmental policy and practice? *Business Strategy and the Environment*, 31(3), 1091–1110. <https://doi.org/10.1002/bse.2937>
- Benti, N. E., Mekonnen, Y. S., & Asfaw, A. A. (2023). Combining green energy technologies to electrify rural community of Wollega, Western Ethiopia. *Scientific African*, 19, e01467. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01467>
- Chadaga, K., Chakraborty, C., Prabhu, S., Umakanth, S., Bhat, V., & Sampathila, N. (2022). Clinical and Laboratory Approach to Diagnose COVID-19 Using Machine Learning. *Interdisciplinary Sciences: Computational Life Sciences*, 14(2), 452–470. <https://doi.org/10.1007/s12539-021-00499-4>
- Chaudhry, A., Inata, Y., & Nakagami, E. (2023). Quality analysis of the clinical laboratory literature and its effectiveness on clinical quality improvement: a systematic review. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 73(2), 23–22. <https://doi.org/10.3164/jcbtn.23-22>
- Ciapponi, A. (2021). La declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para reportar revisiones sistemáticas. *Evidencia, actualizacion en la práctica ambulatoria*, 24(3), e002139–e002139.
- Come Zebra, E. I., van der Windt, H. J., Nhumaio, G., & Faaij, A. P. C. (2021). A review of hybrid renewable energy systems in mini-grids for off-grid electrification in developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 111036. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111036>
- Elgendi, M., AlMallahi, M., Abdelkhalig, A., & Selim, M. Y. E. (2023). A review of wind turbines in complex terrain. *International Journal of Thermofluids*, 17, 100289. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100289>
- Elia, S., Munjal, S., & Scalera, V. G. (2020). Sourcing Technological Knowledge Through Foreign Inward Licensing to Boost the Performance of Indian Firms: The Contingent Effects of Internal R&D and Business Group Affiliation. *Management International Review*, 60(5), 695–721. <https://doi.org/10.1007/s11575-020-00419-6>

- Fu, Q., Lai, J., Zhong, T., & Ran, L. (2023). Design and Implementation of Clinical LIS360 Laboratory Management System Based on AI Technology. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 16(1), 33. <https://doi.org/10.1007/s44196-023-00207-8>
- Gammie, A., Lopez, J., & Scott, S. (2023). Imperative: reducing the environmental impact of clinical laboratories. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)*, 61(4), 634–637. <https://doi.org/10.1515/cclm-2022-1052>
- Govindan, K., Shaw, M., & Majumdar, A. (2021). Social sustainability tensions in multi-tier supply chain: A systematic literature review towards conceptual framework development. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123075. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123075>
- Haleem, A., Javaid, M., Pratap Singh, R., & Suman, R. (2022). Medical 4.0 technologies for healthcare: Features, capabilities, and applications. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 2, 12–30. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2022.04.001>
- Han, J. E. D., Ibrahim, H., Aiyegbusi, O. L., Liu, X., Marston, E., Denniston, A. K., & Calvert, M. J. (2022). Opportunities and Risks of UK Medical Device Reform. *Therapeutic Innovation & Regulatory Science*, 56(4), 596–606. <https://doi.org/10.1007/s43441-022-00394-0>
- Hsu, S., Banskota, S., McCormick, W., Capacci, J., Bustamante, C., Moretti, K., Wiegand, D., & Martin, K. D. (2021). Utilization of a waste audit at a community hospital emergency department to quantify waste production and estimate environmental impact. *The Journal of Climate Change and Health*, 4, 100041. <https://doi.org/10.1016/j.joclim.2021.100041>
- Huang, W., Huang, D., Ding, Y., Yu, C., Wang, L., Lv, N., Qu, J., & Lu, H. (2023). Clinical application of intelligent technologies and integration in medical laboratories. *iLABMED*, 1(1), 82–91. <https://doi.org/10.1002/ila2.9>
- Hutton, B., Catalá-López, F., & Moher, D. (2016). La extensión de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas que incorporan metaanálisis en red: PRISMA-NMA. *Medicina clínica*, 147(6), 262–266.
- Jaiswal, K. K., Chowdhury, C. R., Yadav, D., Verma, R., Dutta, S., Jaiswal, K. S., SangmeshB, & Karuppasamy, K. S. K. (2022). Renewable and sustainable clean

- energy development and impact on social, economic, and environmental health. *Energy Nexus*, 7, 100118. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100118>
- Jun, J., Ojemeni, M. M., Kalamani, R., Tong, J., & Crecelius, M. L. (2021). Relationship between nurse burnout, patient and organizational outcomes: Systematic review. *International Journal of Nursing Studies*, 119, 103933. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2021.103933>
- Katipamula, S., Underhill, R. M., Fernandez, N., Kim, W., Lutes, R. G., & Taasevigen, D. (2021). Prevalence of typical operational problems and energy savings opportunities in U.S. commercial buildings. *Energy and Buildings*, 253, 111544. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111544>
- Khando, K., Gao, S., Islam, S. M., & Salman, A. (2021). Enhancing employees information security awareness in private and public organisations: A systematic literature review. *Computers & Security*, 106, 102267. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2021.102267>
- Kiyokawa, T., Katayama, H., Tatsuta, Y., Takamatsu, J., & Ogasawara, T. (2021). Robotic Waste Sorter With Agile Manipulation and Quickly Trainable Detector. *IEEE Access*, 9, 124616–124631. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3110795>
- Kong, G., Lin, K., & Hu, Y. (2020). Using machine learning methods to predict in-hospital mortality of sepsis patients in the ICU. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 20(1), 251. <https://doi.org/10.1186/s12911-020-01271-2>
- Linares-Espinós, E., Hernández, V., Domínguez-Escrig, J. L., Fernández-Pello, S., Hevia, V., Mayor, J., Padilla-Fernández, B., & Ribal, M. J. (2018). Metodología de una revisión sistemática. *Actas Urológicas Españolas*, 42(8), 499–506.
- Liu, H., Yao, P., Latif, S., Aslam, S., & Iqbal, N. (2022). Impact of Green financing, FinTech, and financial inclusion on energy efficiency. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(13), 18955–18966. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16949-x>
- Mazumder, S., & Garg, S. (2021). Decoding digital transformational outsourcing: The role of service providers' capabilities. *International Journal of Information Management*, 58, 102295. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102295>
- McClintock, A. H., & Fainstad, T. (2022). Growth, Engagement, and Belonging in the Clinical Learning Environment: the Role of Psychological Safety and the Work

- Ahead. *Journal of General Internal Medicine*, 37(9), 2291–2296.  
<https://doi.org/10.1007/s11606-022-07493-6>
- McCrorry, G., Schöpke, N., Holmén, J., & Holmberg, J. (2020). Sustainability-oriented labs in real-world contexts: An exploratory review. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123202>
- Mincu, M. (2022). Why is school leadership key to transforming education? Structural and cultural assumptions for quality education in diverse contexts. *PROSPECTS*, 52(3–4), 231–242. <https://doi.org/10.1007/s11125-022-09625-6>
- Molero, A., Calabrò, M., Vignes, M., Gouget, B., & Gruson, D. (2021). Sustainability in Healthcare: Perspectives and Reflections Regarding Laboratory Medicine. *Annals of Laboratory Medicine*, 41(2), 139–144. <https://doi.org/10.3343/alm.2021.41.2.139>
- Morales, W. G. B. (2022). Análisis de Prisma como Metodología para Revisión Sistemática: una Aproximación General. *Saúde em Redes*, 8(sup1), 339–360.
- Munari, E., Scarpa, A., Cima, L., Pozzi, M., Pagni, F., Vasuri, F., Marletta, S., Dei Tos, A. P., & Eccher, A. (2023). Cutting-edge technology and automation in the pathology laboratory. *Virchows Archiv*. <https://doi.org/10.1007/s00428-023-03637-z>
- Nti, I., Adekoya, A., Weyori, B., & Keyeremeh, F. (2023). A bibliometric analysis of technology in sustainable healthcare: Emerging trends and future directions. *Decision Analytics Journal*, 8, 100292. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100292>
- Oduro-Kwarteng, S., Addai, R., & Essandoh, H. M. K. (2021). Healthcare waste characteristics and management in Kumasi, Ghana. *Scientific African*, 12, e00784. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00784>
- Osorio, F., Dupont, L., Camargo, M., Palominos, P., Peña, J. I., & Alfaro, M. (2019). Design and management of innovation laboratories: Toward a performance assessment tool. *Creativity and Innovation Management*, 28(1), 82–100. <https://doi.org/10.1111/caim.12301>
- Patel, K., El-Khoury, J. M., Simundic, A.-M., Farnsworth, C. W., Broell, F., Genzen, J. R., & Amukele, T. K. (2021). Evolution of Blood Sample Transportation and Monitoring Technologies. *Clinical Chemistry*, 67(6), 812–819. <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvab001>

- Peiffer-Smadja, N., Dellière, S., Rodriguez, C., Birgand, G., Lescure, F.-X., Fourati, S., & Ruppé, E. (2020). Machine learning in the clinical microbiology laboratory: has the time come for routine practice? *Clinical Microbiology and Infection*, 26(10), 1300–1309. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2020.02.006>
- Poon, Y.-S. R., Lin, Y. P., Griffiths, P., Yong, K. K., Seah, B., & Liaw, S. Y. (2022b). A global overview of healthcare workers' turnover intention amid COVID-19 pandemic: a systematic review with future directions. *Human Resources for Health*, 20(1), 70. <https://doi.org/10.1186/s12960-022-00764-7>
- Prasad, P. A., Joshi, D., Lighter, J., Agins, J., Allen, R., Collins, M., Pena, F., Velletri, J., & Thiel, C. (2022). Environmental footprint of regular and intensive inpatient care in a large US hospital. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27(1), 38–49. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01998-8>
- Quesada, D., & Zeledón, R. (2022). (In)equality in Healthcare: a perspective from the accreditation of clinical laboratories in Costa Rica. *Población y Salud en Mesoamérica*, 19(2).
- Rissman, J., Bataille, C., Masanet, E., Aden, N., Morrow, W. R., Zhou, N., Elliott, N., Dell, R., Heeren, N., Huckestein, B., Cresko, J., Miller, S. A., Roy, J., Fennell, P., Cremmins, B., Koch Blank, T., Hone, D., Williams, E. D., de la Rue du Can, S., ... Helseth, J. (2020). Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070. *Applied Energy*, 266, 114848. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114848>
- Rodrigo, C. P. (2012). Las revisiones sistemáticas: declaración PRISMA. *Rev Esp Nutr Comunitaria*, 18(1), 57–58.
- Serrano, S. S., Navarro, I. P., & González, M. D. (2022). ¿Cómo hacer una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA?: Usos y estrategias fundamentales para su aplicación en el ámbito educativo a través de un caso práctico. *Bordón: Revista de pedagogía*, 74(3), 51–66.
- Spitzenberger, F., Patel, J., Gebuhr, I., Kruttwig, K., Safi, A., & Meisel, C. (2022). Laboratory-Developed Tests: Design of a Regulatory Strategy in Compliance with the International State-of-the-Art and the Regulation (EU) 2017/746 (EU IVDR [In

- Vitro Diagnostic Medical Device Regulation]). *Therapeutic Innovation & Regulatory Science*, 56(1), 47–64. <https://doi.org/10.1007/s43441-021-00323-7>
- Wahlstedt, E. R., Wahlstedt, J. C., Rosenberg, J. S., & deVries, C. R. (2024). Lifecycle of surgical devices: Global, environmental, and regulatory considerations. *World Journal of Surgery*. <https://doi.org/10.1002/wjs.12140>
- Yepes-Nuñez, J. J., Urrutia, G., Romero-Garcia, M., & Alonso-Fernandez, S. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews  
Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista española de cardiología*, 74(9), 790–799.
- Zamboni, K., Baker, U., Tyagi, M., Schellenberg, J., Hill, Z., & Hanson, C. (2020a). How and under what circumstances do quality improvement collaboratives lead to better outcomes? A systematic review. *Implementation Science*, 15(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s13012-020-0978-z>