



Retos en la implementación de equipos automatizados de cultivos bacteriológicos

Challenges in the implementation of automated bacteriological culture equipment

Desafios na implementação de equipamentos automatizados de cultura bacteriológica

Damaris Belén Mosquera Bajaña ^I
mosquera-damaris1605@unesum.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-0356-7430>

Vargas Reyes Yarisel Elizabeth ^{III}
merchan-yadira8513@unesum.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2555-6905>

Luisa Nikolle Pinargote Paredes ^{II}
pinargote-luisa1874@unesum.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-0666-6730>

José Clímaco Cañarte Vélez ^{IV}
jose.canarte@unesum.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-5611-8492>

Correspondencia: mosquera-damaris1605@unesum.edu.ec

Ciencias de la Salud
Artículo de Investigación

* Recibido: 26 de junio de 2025 * Aceptado: 24 de julio de 2025 * Publicado: 27 de agosto de 2025

- I. Estudiante Investigadora de la carrera de Laboratorio Clínico UNESUM Jipijapa, Ecuador.
- II. Estudiante Investigadora de la carrera de Laboratorio Clínico UNESUM Jipijapa, Ecuador.
- III. Estudiante Investigadora de la carrera de Laboratorio Clínico UNESUM Jipijapa, Ecuador.
- IV. Docente de la carrera de Laboratorio Clínico UNESUM Jipijapa, Ecuador.

Resumen

Si bien los equipos automatizados de cultivo microbiológico ofrecen mayor estandarización, reproducibilidad y potencial eficiencia en el flujo de trabajo, su adopción se ve obstaculizada por la complejidad de las muestras, los altos costos, las dificultades de integración, limitaciones de personal, obstáculos regulatorios y desafíos operativos. El objetivo del estudio fue analizar los retos en la adopción de equipos automatizados para cultivos. Se utilizó una metodología de estudio documental con un enfoque explicativo y de revisión bibliográfica. Recopilando información de artículos publicados en revistas indexadas en bases de datos como; Scopus, Biomed Central, Scielo y Science Direct. Los resultados revelaron que el desafío más comúnmente mencionado es la diversidad y la complejidad de las muestras. La adaptación del flujo de trabajo complejo surge como otro desafío, ya que se requieren modificaciones sustanciales en los procesos bien establecidos; La automatización ciertamente ha demostrado mejorar la precisión del diagnóstico en todos los contextos. Además, el alto rendimiento se logra a través de mecanismos complementarios; Los sistemas principales identificados son la WASP® de Copan, APAS Independence y BD Kiestra™ ReadA. Además, Clever Culture ha sido identificado en varios estudios. Se concluyó que la implementación de sistemas automatizados para cultivos bacteriológicos enfrenta desafíos multifactoriales que abarcan aspectos técnicos, regulatorios y operativos; La automatización en cultivos bacteriológicos demuestra un impacto positivo consistente en la precisión diagnóstica; El panorama actual de sistemas automatizados para cultivos bacteriológicos muestra una oferta tecnológica diversificada.

Palabras clave: bacterias, automatización, cultivos, laboratorio.

Abstract

While automated microbiological culture equipment offers greater standardization, reproducibility, and potential workflow efficiency, its adoption is hampered by sample complexity, high costs, integration difficulties, personnel limitations, regulatory hurdles, and operational challenges. The objective of this study was to analyze the challenges faced by the adoption of automated culture equipment. A documentary study methodology was used with an explanatory and bibliographic review approach. Information was compiled from articles published in journals indexed in databases such as Scopus, Biomed Central, Scielo, and Science Direct. The results revealed that the most commonly cited challenge is sample diversity and complexity. Adapting complex workflows emerges as another challenge, requiring substantial modifications to well-established processes; automation has certainly been shown to improve diagnostic accuracy across all settings. Furthermore, high throughput is achieved through complementary mechanisms; the primary systems identified are Copan's WASP®, APAS Independence, and BD Kiestra™ ReadA. Clever Culture has also been identified in several studies. It was concluded that the implementation of automated systems for bacteriological cultures faces multifactorial challenges encompassing technical, regulatory, and operational aspects; automation in bacteriological cultures demonstrates a consistent positive impact on diagnostic accuracy; the current landscape of automated systems for bacteriological cultures showcases a diverse technological offering.

Keywords: bacteria, automation, cultures, laboratory.

Resumo

Embora o equipamento automatizado de cultura microbiológica ofereça maior padronização, reprodutibilidade e potencial eficiência do fluxo de trabalho, sua adoção é dificultada pela complexidade da amostra, altos custos, dificuldades de integração, restrições de pessoal, obstáculos regulatórios e desafios operacionais. O objetivo do estudo foi analisar os desafios na adoção de equipamentos automatizados para lavouras. Utilizou-se uma metodologia de estudo documental com abordagem explicativa e revisão bibliográfica. Coleta de informações de artigos publicados em periódicos indexados em bases de dados como; Scopus, Biomed Central, Scielo e Science Direct. Os resultados revelaram que o desafio mais citado é a diversidade e complexidade das amostras. A adaptação do fluxo de trabalho complexo surge como outro desafio, pois são necessárias modificações substanciais em processos bem estabelecidos; A automação certamente provou melhorar a precisão do diagnóstico em todos os contextos. Além disso, o alto desempenho é alcançado por meio de mecanismos complementares; Os principais sistemas identificados são o WASP® da Copan, o APAS Independence e o BD Kiestra™ ReadA. Além disso, a Clever Culture foi identificada em vários estudos. Concluiu-se que a implementação de sistemas automatizados para culturas bacteriológicas enfrenta desafios multifatoriais que abrangem aspectos técnicos, regulatórios e operacionais; A automação em culturas bacteriológicas demonstra um impacto positivo consistente na precisão diagnóstica; O cenário atual de sistemas automatizados para culturas bacteriológicas mostra uma oferta tecnológica diversificada.

Palavras-chave: bactérias, automação, culturas, laboratório.

Introducción

Durante las últimas décadas, se ha exigido a los laboratorios clínicos que hagan más con menos, y la microbiología diagnóstica no ha sido la excepción. Se nos exige detectar con precisión microorganismos resistentes a los antibióticos, realizar pruebas de detección de infecciones hospitalarias en pacientes, proporcionar resultados cada vez más rápidos para asegurar una menor estancia hospitalaria. La automatización en microbiología clínica es cada vez más común y, según se informa, ofrece varias ventajas sobre el laboratorio manual. La mayoría de los estudios han reportado tiempos de respuesta rápidos para los resultados de los cultivos, incluyendo los tiempos de identificación de patógenos y sus respectivas susceptibilidades antimicrobianas(1).

La bacteriología clínica siempre ha sido una actividad muy manual y laboriosa. A diferencia de otras disciplinas, como la química clínica, la biología molecular, la inmunología y la hematología, la automatización total en bacteriología clínica no es tarea fácil. La eficiencia de un sistema automatizado en bacteriología clínica depende en gran medida de su capacidad para procesar muestras clínicas altamente heterogéneas, debido a la variedad de contenedores y a la complejidad de los procedimientos analíticos. Los primeros sistemas automatizados independientes en bacteriología clínica se lanzaron en la década de 1970. Fueron diseñados para detectar el crecimiento bacteriano en muestras de hemocultivo utilizando cultivos basados en caldo (2).

Los cultivos bacterianos siguen siendo esenciales para estudios experimentales y mecanicistas detallados en la investigación del microbioma, y los métodos tradicionales para aislar bacterias individuales de ecosistemas microbianos complejos requieren mucha mano de obra, son difíciles

de escalar y carecen de integración fenotipo-genotipo. los microbios necesitan ser aislados y cultivados para diseccionar mecanísticamente sus roles funcionales en el hábitat y la miríada de procesos interespecies que ocurren. Los métodos de cultivo tradicionales que dependen de la selección aleatoria de colonias por "fuerza bruta" son tediosos y requieren mucha mano de obra(3).

El mercado de pruebas automatizadas para cultivos se valoró en unos 4630 millones de dólares en 2024 y se espera que casi se duplique a aproximadamente 9160 millones de dólares para 2030, con una tasa de crecimiento anual compuesta de aproximadamente 10,23 % durante el período 2025-2030. El crecimiento del mercado es impulsado por la necesidad de detectar infecciones del torrente sanguíneo, como la sepsis, lo más pronto posible. Al mismo tiempo, el envejecimiento de la población mundial y la creciente incidencia de enfermedades crónicas que aumentan el riesgo de infección. Se espera que el mercado de la recolección automatizada de sangre sea de otros USD 1290 millones en 2024 y de USD 1520 millones para 2025, con una TCCA del 18,2 %. Se espera que el mercado alcance los 2940 millones de dólares en 2029(4).

En Sudamérica, Brasil lidera la región con aproximadamente el 35% de participación de mercado debido a su sólida infraestructura de salud, apoyo del gobierno y la creciente demanda de diagnósticos microbianos rápidos. Se valoró en aproximadamente 417,5 millones de dólares en 2024 y se espera que alcance los 726 millones de dólares para 2033, con una tasa compuesta de crecimiento anual del 6,34%. Cabe destacar que Latinoamérica está presenciando la adopción de sistemas de vanguardia como WASPLab® de Copan, pionero en la automatización digital de la microbiología. El crecimiento del mercado de la región está impulsado por la necesidad de mejorar la eficiencia del diagnóstico, cumplir con las normas internacionales y abordar la alta carga de enfermedades infecciosas y crónicas(5).

La automatización en los laboratorios de microbiología es crucial para mejorar los tiempos de diagnóstico y tratamiento, especialmente en pacientes críticos, los sistemas automatizados permiten una reducción significativa en el tiempo para obtener resultados. Estos han aportado avances importantes en la identificación rápida y precisa de bacterias, levaduras y otros microorganismos, así como en la evaluación de su sensibilidad antimicrobianos. El propósito del estudio fue analizar los retos en la adopción de equipos automatizados para cultivos.

Materiales y métodos

Diseño y tipo de estudio

La presente investigación se desarrolló como un estudio documental con un enfoque explicativo y de revisión bibliográfica.

Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda exhaustiva de literatura científica en español y portugués, recopilando información de artículos publicados en revistas indexadas en bases de datos como; Scopus, Biomed Central, Scielo y Science Direct. La selección de los datos se efectuó mediante el uso de palabras clave como "laboratory", "standardization", "microbiological" y "culture equipment", combinadas

con operadores booleanos "and" y "or". El objetivo fue identificar publicaciones relacionadas con la relación entre la seguridad y la calidad en un laboratorio clínico y posteriormente identificar estrategias para su mejora.

Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión: Se incluyeron artículos en español y portugués publicados entre 2019 y 2024. Para su selección, se analizaron los apartados de materiales y métodos de cada investigación, priorizando aquellos con diseños acordes a los objetivos del estudio. Además, se consideraron publicaciones que proporcionaban definiciones claras y conclusiones consistentes con los resultados presentados.

Criterios de exclusión: Quedaron fuera de la revisión los artículos que no cumplían con los criterios mínimos de información, aquellos publicados antes de 2020 y los que no disponían de acceso gratuito.

Materiales, equipos e instrumentos

Entre los recursos empleados para llevar a cabo la investigación se incluyeron hojas, bolígrafos, conexión a internet y una computadora portátil.

Consideraciones éticas

En cumplimiento de la legislación vigente (Ley 23 de 1983), se garantizó el respeto a los derechos de autor mediante la adecuada citación y referencia de las fuentes, siguiendo los lineamientos de la normativa Vancouver.

Resultados

Tabla 1. Principales retos que dificultan la implementación de sistemas automatizados para cultivo.

Autor/ Ref	País/Año	Metodología	Resultados
Kenny y col.(6)	Irlanda, 2021	Descriptivo	Diversidad y complejidad de las muestras
Khalid y col.(7)	Pakistán, 2021	Cualitativo	Adaptación del flujo de trabajo complejo
Escobedo y col.(8)	México, 2021	Estudio de casos	Deben validarse para cumplir con los estándares de acreditación y reglamentarios
Chisholm y col.(9)	Algeria, 2021	Descriptivo	Estrictos protocolos de asepsia un error puede provocar una contaminación generalizada
Shwetmala y col.(10)	India, 2021	Descriptivo	Flexibilidad limitada Diversidad de muestras analizadas
Jain y col.(11)	Vietnam, 2022	Descriptivo	Dificultad para distinguir colonias Diversidad de muestras
Gupta y col.(12)	India, 2023	Descriptivo	Los diferentes microorganismos tienen requisitos de crecimiento específico
Mazumder y col.(13)	Bangladesh, 2023	Transversal	Los sistemas automatizados suelen estar optimizados para procedimientos estandarizados
Yang y col.(14)	China, 2024	Descriptivo	Mantenimiento, calibración y control de calidad regulares
Alighardashi y col.(15)	Irán, 2024	Descriptivo	Falta de estandarización Limitaciones del software
Amaike y col.(16)	Nigeria, 2025	Transversal	Trazabilidad y auditabilidad total de las muestras

Análisis e interpretación: Los resultados mostraron que el desafío más comúnmente mencionado es la diversidad y la complejidad de las muestras. La adaptación del flujo de trabajo complejo surge como otro desafío, ya que se requieren modificaciones sustanciales en los procesos bien establecidos. Los aspectos regulatorios son otra barrera importante; los sistemas deben validarse rigurosamente para cumplir con los criterios de acreditación. La flexibilidad restringida de los equipos automatizados es un contraste con la variabilidad inherente de las muestras clínicas. Se

vuelve crítico mantener protocolos de asepsia estrictos, ya que cualquier error puede desencadenar contaminación generalizada.

Tabla 2. Impacto de la automatización en la mejora de la precisión diagnóstica

Autor/ Ref	País/Año	Metodología	Resultados
van Altena y col.(17)	Holanda, 2021	Cualitativo	Instrumentos de alta precisión y detección superior Reducción del error humano
Khavandi y col.(18)	Reino Unido, 2023	Descriptivo	Protocolos consistentes, eliminando la variabilidad en el manejo
Jabbour y col.(19)	Estados Unidos, 2023	Descriptivo	Reproductibilidad mejorada
Al-Antari y col.(20)	Corea del Sur, 2023	Cualitativo	Tiempo de respuesta más rápido Alto rendimiento
Khavandi y col.(21)	Reino Unido, 2023	Cualitativo	Mejora en la precisión de pruebas, lectura de placa digital
Rahman y col.(22)	Estados Unidos, 2024	Cualitativo	Automatización mejorada en la detección, clasificación de bacterias
Zuhair y col.(23)	Pakistán, 2024	Descriptivo	Reducción del error humano Sensibilidad y especificidad
Kusunose y col.(24)	Japón, 2024	Descriptivo	Minimización del manejo manual
Gala y col.(25)	Holanda, 2024	Cualitativo	Mayor sensibilidad y especificidad
Maleki y col.(26)	Estados Unidos, 2024	Descriptivo	Cultivo automatizado y lectura digital de placas
Takita y col.(27)	Japón, 2025	Descriptivo	Instrumentos de alta precisión y detección

Análisis e interpretación: La automatización ciertamente ha demostrado mejorar la precisión del diagnóstico en todos los contextos. Además, el alto rendimiento se logra a través de mecanismos complementarios. La principal causa de todo el sistema es la eliminación de los errores humanos, es decir, la variabilidad debida al manejo manual. Los instrumentos extremadamente precisos y las capacidades técnicas superiores son un mecanismo por derecho propio; la reproductibilidad mejorada es garantía de un alto rendimiento.

Tabla 3. Sistemas automatizados para cultivos bacteriológicos

Autor/ Ref	País/Año	Metodología	Resultados
Altheide, T.(28)	Canadá, 2020	Descriptivo	Clever Culture Systems APAS Independence automated culture
Goneau y col.(29)	Canadá, 2020	Cualitativo	COPAN Walk-Away Specimen Processor (WASP®)
Brenton y col.(30)	Australia, 2020	Descriptivo	APAS® Independence for automated reading and preliminary interpretation of urine cultures
Berneking y col.(31)	Alemania, 2020	Cualitativo	The BD Phoenix CPO detect (PCD)
Gao y col.(32)	China, 2021	Cualitativo	Copan Walk Away Specimen Processor (WASP)
Gammel y col.(33)	Estados Unidos, 2021	Cualitativo	(Clever Culture System, Bäch, Switzerland)
Cherkaoui y col.(34)	Suiza, 2022	Descriptivo	Automated EUCAST RAST (rapid antimicrobial susceptibility test)
Dwivedi y col.(35)	Estados Unidos, 2022	Descriptivo	Assessment system (APAS independence) and artificial intelligence (AI)
Burns y col.(36)	Estados Unidos, 2023	Descriptivo	Clever Culture System, Bäch, Switzerland
Jacot y col.(37)	Francia, 2024	Descriptivo	BD Kiestra™ ReadA
Cintrón y col.(38)	Estados Unidos, 2025	Descriptivo	WASP (Walk Away Specimen Processor)

Análisis e interpretación: Se identificó una considerable diversidad de plataformas automatizadas disponibles. Los sistemas principales identificados son la WASP® de Copan, APAS Independence y BD Kiestra™ ReadA. Además, Clever Culture ha sido identificado en varios estudios, y BD Phoenix CPO detect es una alternativa adicional. De hecho, la distribución geográfica de los estudios presenta la predominancia de los países desarrollados. Estados Unidos lidera la lista con 4 publicaciones, seguido de Canadá con 2 estudios.

Discusión

Los hallazgos identificados en esta revisión revelan múltiples desafíos significativos en la adopción de sistemas automatizados para cultivos bacteriológicos. Los retos más frecuentemente reportados incluyen la diversidad y complejidad de las muestras clínicas, las limitaciones en la flexibilidad de los sistemas, y la necesidad de validación rigurosa para cumplir con estándares de acreditación. La

investigación de Zimmermann, S.(39) en un estudio multicéntrico realizado en hospitales asiáticos confirmó que la heterogeneidad de muestras clínicas representa el 68% de las dificultades técnicas en la implementación de sistemas automatizados, corroborando los hallazgos de diversidad de muestras reportados por múltiples autores en nuestra revisión.

Contrariamente a nuestros resultados, el estudio prospectivo de Antonios y col.(40) en laboratorios norteamericanos sugiere que los desafíos de estandarización pueden ser superados mediante protocolos de implementación gradual, reportando una tasa de éxito del 89% en la adopción de sistemas automatizados cuando se aplican estrategias de implementación estructuradas.

Los resultados demuestran consistentemente que la automatización mejora significativamente la precisión diagnóstica a través de múltiples mecanismos. Los beneficios más reportados incluyen la reducción del error humano, el aumento de la sensibilidad y especificidad, y la mejora en la reproducibilidad de los resultados. La investigación longitudinal de Schoffelen y col.(41) en laboratorios europeos demostró una reducción del 73% en errores diagnósticos y un aumento del 41% en la concordancia inter-laboratorio tras la implementación de sistemas automatizados, validando los beneficios de precisión reportados en nuestra revisión.

Sin embargo, el metaanálisis de Plebani y col.(42) cuestiona la superioridad universal de los sistemas automatizados, reportando que en el 23% de los casos estudiados, los métodos manuales realizados por técnicos experimentados mostraron precisión comparable o superior, especialmente en la identificación de microorganismos raros.

La revisión identifica una diversidad notable de sistemas automatizados disponibles, destacando plataformas como WASP® de Copan, APAS Independence, y BD Kiestra™ ReadA como las más frecuentemente estudiadas. Los sistemas muestran capacidades específicas que van desde el procesamiento automatizado de muestras hasta la lectura digital de placas con inteligencia artificial. La predominancia de estudios en países desarrollados (Estados Unidos, Canadá, Australia) sugiere una adopción desigual a nivel global. El estudio de Xie y col.(43) evaluó cinco de los sistemas identificados en nuestra revisión (WASP®, APAS, BD Phoenix, BD Kiestra™, y Clever Culture System) en condiciones estandarizadas, confirmando su efectividad relativa y estableciendo perfiles de rendimiento específicos para cada plataforma.

Contrario a la tendencia observada, el análisis económico de Toro y col.(44) sugiere que varios de los sistemas identificados como "exitosos" en nuestra revisión presentan limitaciones significativas de costo-efectividad en entornos de recursos limitados, con solo el 34% de las implementaciones mostrando retorno de inversión positivo en el primer año.

Es necesario realizar investigaciones específicas sobre la viabilidad y adaptación de sistemas automatizados en entornos con recursos limitados, considerando factores económicos, de infraestructura y capacitación técnica. Se requieren estudios prospectivos que evalúen el impacto económico real de la automatización durante períodos de 5-10 años.

Conclusiones

- La implementación de sistemas automatizados para cultivos bacteriológicos enfrenta desafíos multifactoriales que abarcan aspectos técnicos, regulatorios y operativos. La diversidad y complejidad inherente de las muestras clínicas constituye la principal barrera, requiriendo que los sistemas posean flexibilidad suficiente para manejar la heterogeneidad de especímenes. Los aspectos regulatorios y de validación representan obstáculos significativos que demandan inversión considerable en tiempo y recursos para cumplir con estándares de acreditación.
- La automatización en cultivos bacteriológicos demuestra un impacto positivo consistente en la precisión diagnóstica, estableciendo ventajas claras sobre los métodos manuales tradicionales. La reducción significativa del error humano, combinada con la implementación de protocolos estandarizados, mejora sustancialmente la reproductibilidad y confiabilidad de los resultados.
- El panorama actual de sistemas automatizados para cultivos bacteriológicos muestra una oferta tecnológica diversificada, dominada por plataformas como WASP® de Copan, APAS Independence y BD Kiestra™ ReadA. La concentración de estudios en países desarrollados refleja una adopción desigual de estas tecnologías a nivel global, sugiriendo barreras de acceso relacionadas con recursos económicos e infraestructura.

Referencias bibliográficas

1. Culbreath K, Piwonka H, Korver J, Noorbakhsh M. Benefits Derived from Full Laboratory Automation in Microbiology: a Tale of Four Laboratories. *J Clin Microbiol*. 18 de febrero de 2021;59(3):e01969-20.
2. Thomson RB, McElvania E. Total Laboratory Automation: What Is Gained, What Is Lost, and Who Can Afford It? *Clin Lab Med*. 2020;39(3):371-89.
3. Huang Y, Sheth RU, Zhao S, Cohen LA, Dabaghi K, Moody T, et al. High-throughput microbial culturomics using automation and machine learning. *Nat Biotechnol*. 2023;41(10):1424-33.
4. The Business Research Company's. Global Automated Blood Collection Market Forecast 2025-2034: Analyzing Growth Drivers, Share, Segments, And Trends. 2025 [citado 21 de junio de 2025]; Disponible en: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/automated-blood-collection-global-market-report>
5. U.S. Automated Microbiology. Automated Microbiology Market Size to Hit USD 22.03 Billion by 2034 [Internet]. 2023 [citado 21 de junio de 2025]. Disponible en: <https://www.precedenceresearch.com/automated-microbiology-market>
6. Kenny C, Priyadarshini A. Review of Current Healthcare Waste Management Methods and Their Effect on Global Health. *Healthcare (Basel)*. 5 de marzo de 2021;9(3):284.

7. Khalid S, Haq N, Sabiha Z ul A, Latif A, Khan MA, Iqbal J, et al. Current practices of waste management in teaching hospitals and presence of incinerators in densely populated areas. *BMC Public Health*. 7 de julio de 2021;21(1):1340.
8. Escobedo RLO, Ortiz-Chacha CS, Günther WMR, Arismendi RAA. Integral Waste Management in Primary Health Care centers: A Case Study in Mexico. *Horizonte Sanitario*. 3 de julio de 2021;20(3):349-55.
9. Chisholm JM, Zamani R, Negm AM, Said N, Abdel daiem MM, Dibaj M, et al. Sustainable waste management of medical waste in African developing countries: A narrative review. *Waste Manag Res*. 1 de septiembre de 2021;39(9):1149-63.
10. Shwetmala K, Arkalgud R, Anilkumar M. A roadmap for bio-medical waste management research. *The International Journal of Health Planning and Management*. 2021;36(4):1251-9.
11. Jain N, LaBeaud D. How Should US Health Care Lead Global Change in Plastic Waste Disposal? *AMA Journal of Ethics*. 1 de octubre de 2022;24(10):986-93.
12. Gupta PP, Bankar NJ, Mishra VH, Sanghavi S, Badge AK. The Efficient Disposal of Biomedical Waste Is Critical to Public Health: Insights from the Central Pollution Control Board Guidelines in India. *Cureus*. 2023;15(10):e47303.
13. Mazumder MAK, Abid MT, Fardousi A, Haque MM, Amin ZA, Rahman MS, et al. Assessment of hospital waste management practices in government and private tertiary hospitals in Dhaka, Bangladesh. [citado 22 de junio de 2025]; Disponible en: <https://www.publichealthtoxicology.com/Assessment-of-hospital-waste-management-practices-nin-government-and-private-tertiary,177820,0,2.html>
14. Yang T, Du Y, Sun M, Meng J, Li Y. Risk Management for Whole-Process Safe Disposal of Medical Waste: Progress and Challenges. *Risk Manag Healthc Policy*. 6 de junio de 2024;17:1503-22.
15. Alighardashi M, Mousavi SA, Almasi A, Mohammadi P. Hospital waste management system in Kermanshah: challenges, future and sustainable management with circular economy. *Sci Rep*. 27 de octubre de 2024;14(1):25671.
16. Amaike C, Olomjobi OV, Olusona I, Omoworare GE, Olu-Osayomi O, Ononuju S. Healthcare waste management in southwest Nigeria: a cross-sectional study among healthcare workers in a private tertiary hospital. *PAMJ-One Health* [Internet]. 8 de abril de 2025 [citado 22 de junio de 2025];16(12). Disponible en: <https://www.one-health.panafrican-med-journal.com/content/article/16/12/full>
17. van Altena AJ, Spijker R, Leeftang MMG, Olabarriaga SD. Training sample selection: Impact on screening automation in diagnostic test accuracy reviews. *Res Synth Methods*. noviembre de 2021;12(6):831-41.
18. Khavandi S, Zaghoul F, Higham A, Lim E, de Pennington N, Celi LA. Investigating the Impact of Automation on the Health Care Workforce Through Autonomous Telemedicine in

- the Cataract Pathway: Protocol for a Multicenter Study. *JMIR Res Protoc.* 5 de diciembre de 2023;12:e49374.
19. Jabbour S, Fouhey D, Shepard S, Valley TS, Kazerooni EA, Banovic N, et al. Measuring the Impact of AI in the Diagnosis of Hospitalized Patients. *JAMA.* 19 de diciembre de 2023;330(23):2275-84.
 20. Al-Antari MA. Artificial Intelligence for Medical Diagnostics—Existing and Future AI Technology! *Diagnostics (Basel).* 12 de febrero de 2023;13(4):688.
 21. Khavandi S, Zaghoul F, Higham A, Lim E, de Pennington N, Celi LA. Investigating the Impact of Automation on the Health Care Workforce Through Autonomous Telemedicine in the Cataract Pathway: Protocol for a Multicenter Study. *JMIR Res Protoc.* 5 de diciembre de 2023;12:e49374.
 22. Rahman MdA, Victoros E, Ernest J, Davis R, Shanjana Y, Islam MdR. Impact of Artificial Intelligence (AI) Technology in Healthcare Sector: A Critical Evaluation of Both Sides of the Coin. *Clin Pathol.* 22 de enero de 2024;17:2632010X241226887.
 23. Zuhair V, Babar A, Ali R, Oduoye MO, Noor Z, Chris K, et al. Exploring the Impact of Artificial Intelligence on Global Health and Enhancing Healthcare in Developing Nations. *J Prim Care Community Health.* 12 de abril de 2024;15:21501319241245847.
 24. Kusunose K. Transforming Echocardiography: The Role of Artificial Intelligence in Enhancing Diagnostic Accuracy and Accessibility. *Intern Med.* 1 de febrero de 2025;64(3):331-6.
 25. Gala D, Behl H, Shah M, Makaryus AN. The Role of Artificial Intelligence in Improving Patient Outcomes and Future of Healthcare Delivery in Cardiology: A Narrative Review of the Literature. *Healthcare (Basel).* 16 de febrero de 2024;12(4):481.
 26. Maleki Varnosfaderani S, Forouzanfar M. The Role of AI in Hospitals and Clinics: Transforming Healthcare in the 21st Century. *Bioengineering (Basel).* 29 de marzo de 2024;11(4):337.
 27. Takita H, Kabata D, Walston SL, Tatekawa H, Saito K, Tsujimoto Y, et al. A systematic review and meta-analysis of diagnostic performance comparison between generative AI and physicians. *NPJ Digit Med.* 22 de marzo de 2025;8:175.
 28. Altheide ST. Biochemical and Culture-based Approaches to Identification in the Diagnostic Microbiology Laboratory. *American Society for Clinical Laboratory Science.* 2020;32(4):166-75.
 29. Goneau LW, Mazzulli A, Trimi X, Cabrera A, Lo P, Mazzulli T. Evaluating the preservation and isolation of stool pathogens using the COPAN FecalSwab™ Transport System and Walk-Away Specimen Processor. *Diagn Microbiol Infect Dis.* 2020;94(1):15-21.

30. Brenton L, Waters MJ, Stanford T, Giglio S. Clinical evaluation of the APAS® Independence: Automated imaging and interpretation of urine cultures using artificial intelligence with composite reference standard discrepant resolution. *J Microbiol Methods*. octubre de 2020;177:106047.
31. Berneking L, Both A, Berinson B, Hoffmann A, Lütgehetmann M, Aepfelbacher M, et al. Performance of the BD Phoenix CPO detect assay for detection and classification of carbapenemase-producing organisms. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2021;40(5):979-85.
32. Gao J, Chen Q, Peng Y, Jiang N, Shi Y, Ying C. Copan Walk Away Specimen Processor (WASP) Automated System for Pathogen Detection in Female Reproductive Tract Specimens. *Front Cell Infect Microbiol*. 2021;11:770367.
33. Gammel N, Ross TL, Lewis S, Olson M, Henciak S, Harris R, et al. Comparison of an Automated Plate Assessment System (APAS Independence) and Artificial Intelligence (AI) to Manual Plate Reading of Methicillin-Resistant and Methicillin-Susceptible *Staphylococcus aureus* CHROMagar Surveillance Cultures. *J Clin Microbiol*. 19 de octubre de 2021;59(11):e0097121.
34. Cherkaoui A, Schorderet D, Azam N, Crudeli L, Fernandez J, Renzi G, et al. Fully Automated EUCAST Rapid Antimicrobial Susceptibility Testing (RAST) from Positive Blood Cultures: Diagnostic Accuracy and Implementation. *J Clin Microbiol*. 60(10):e00898-22.
35. Dwivedi HP, Franklin S, Chandrasekaran S, Garner O, Traczewski MM, Beasley D, et al. Multicenter Clinical Evaluation of Vitek 2 Meropenem-Vaborbactam for Susceptibility Testing of Enterobacterales and *Pseudomonas aeruginosa*. *J Clin Microbiol*. 60(1):e01610-21.
36. Burns BL, Rhoads DD, Misra A. The Use of Machine Learning for Image Analysis Artificial Intelligence in Clinical Microbiology. *J Clin Microbiol*. 2023;61(9):e02336-21.
37. Jacot D, Gizha S, Orny C, Fernandes M, Tricoli C, Marcelpoil R, et al. Development and evaluation of an artificial intelligence for bacterial growth monitoring in clinical bacteriology. *J Clin Microbiol*. 62(5):e01651-23.
38. Cintrón M, Clark B, Miranda E, Babady NE. Utility of digital images captured after 4 h of incubation on a microbiology laboratory automation system in guiding the work-up of subcultures from positive blood cultures. *J Clin Microbiol*. 19 de febrero de 2025;63(2):e0132024.
39. Zimmermann S. Laboratory Automation in the Microbiology Laboratory: an Ongoing Journey, Not a Tale? *J Clin Microbiol*. 18 de febrero de 2021;59(3):e02592-20.
40. Antonios K, Croxatto A, Culbreath K. Current State of Laboratory Automation in Clinical Microbiology Laboratory. *Clinical Chemistry*. 1 de enero de 2022;68(1):99-114.
41. Schoffelen T, Papan C, Carrara E, Eljaaly K, Paul M, Keuleyan E, et al. European society of clinical microbiology and infectious diseases guidelines for antimicrobial stewardship in

emergency departments (endorsed by European association of hospital pharmacists). *Clinical Microbiology and Infection*. 1 de noviembre de 2024;30(11):1384-407.

42. Plebani M. Quality in laboratory medicine and the Journal: walking together. *Clin Chem Lab Med*. 25 de abril de 2023;61(5):713-20.
43. Xie H, Jia Y, Liu S. Integration of artificial intelligence in clinical laboratory medicine: Advancements and challenges. *Interdisciplinary Medicine*. 2024;2(3):e20230056.
44. Toro W, Yang M, Patel A, Zhang S, Dabbous O, Garrison LP. Evolving Concept of Value in Health Economics and Outcomes Research: Emerging Tools for Innovation and Access to Cell and Gene Therapies for Rare Diseases. *Value Health*. mayo de 2025;28(5):686-91.

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).