



Impacto del Uso de Sistemas Automatizados en la Productividad y Precisión del Laboratorio Clínico

Impact of the Use of Automated Systems on the Productivity and Precision of the Clinical Laboratory

Impacto do Uso de Sistemas Automatizados na Produtividade e Precisão do Laboratório Clínico

Sofia Melina Delgado-Barreto ^I
delgado-sofia4302@unesum.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1202-9017>

Miguel Ángel Peñaloza-Sovenis ^{II}
penaloza-miguel5651@unesum.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3537-7954>

David Manuel Jaya-Campos ^{III}
jaya-david5907@unesum.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-2178-7652>

José Clímaco Cañarte-Velez ^{IV}
jose.canarte@unesum.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3843-1143>

Correspondencia: delgado-sofia4302@unesum.edu.ec

Ciencias de la Salud
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 05 de noviembre de 2024 * **Aceptado:** 26 de diciembre de 2024 * **Publicado:** 14 de enero de 2025

- I. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador.
- II. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador.
- III. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador.
- IV. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador.

Resumen

Introducción: La integración de la automatización en los laboratorios clínicos ha mejorado la eficacia, el rendimiento y la calidad de diversos procesos industriales y científicos. Con el tiempo, las herramientas mecanizadas han sustituido a las tareas manuales, y los recientes avances en robótica y tecnología de la información han automatizado aún más procesos que antes dependían exclusivamente de la mano de obra humana, **Objetivo:** Es por ello que el objetivo fue determinar el Impacto del Uso de Sistemas Automatizados en la Productividad y Precisión del Laboratorio Clínico. **Metodología:** la metodología fue diseño documental, tipo descriptivo, basado principalmente en una revisión sistemática. **Resultados:** la automatización en los laboratorios clínicos mejora significativamente la calidad de los resultados, con un notable impacto en la reducción de errores, **Conclusión:** La automatización de los laboratorios clínicos ha mejorado la calidad y la eficiencia de los diagnósticos al reducir los errores y maximizar los recursos. Los sistemas autónomos y los analizadores automatizados son ejemplos de herramientas que mejoran la atención al paciente, estandarizan los resultados y aceleran los procedimientos.

Palabras claves: inteligencia artificial; equipos automáticos; Digitalización.

Abstract

Introduction: The integration of automation in clinical laboratories has improved the efficiency, performance and quality of various industrial and scientific processes. Over time, mechanized tools have replaced manual tasks, and recent advances in robotics and information technology have further automated processes that previously depended exclusively on human labor. **Objective:** This is why the objective was determine the Impact of the Use of Automated Systems on the Productivity and Accuracy of the Clinical Laboratory. **Methodology:** the methodology was documentary design, descriptive type, based mainly on a systematic review. **Results:** automation in clinical laboratories significantly improves the quality of results, with a notable impact on reducing errors. **Conclusion:** Automation in clinical laboratories has improved the quality and efficiency of diagnoses by reducing errors and maximizing the resources. Autonomous systems and automated analyzers are examples of tools that improve patient care, standardize results, and speed up procedures.

Keywords: artificial intelligence; automatic equipment; Digitization.

Resumo

Introdução: A integração da automação em laboratórios clínicos melhorou a eficiência, o desempenho e a qualidade de diversos processos industriais e científicos. Com o tempo, as ferramentas mecanizadas substituíram as tarefas manuais, e os avanços recentes na robótica e na tecnologia da informação automatizaram ainda mais processos que antes dependiam exclusivamente do trabalho humano. **Objetivo:** É por isso que o objetivo era determinar o Impacto do Uso de Sistemas Automatizados na Produtividade. e Precisão do Laboratório Clínico. **Metodologia:** a metodologia foi o desenho documental, tipo descritivo, baseado principalmente em uma revisão sistemática. **Resultados:** a automação em laboratórios clínicos melhora significativamente a qualidade dos resultados, com impacto notável na redução de erros. **Conclusão:** A automação em laboratórios clínicos melhorou a qualidade e a eficiência dos diagnósticos, reduzindo erros e maximizando os recursos. Sistemas autônomos e analisadores automatizados são exemplos de ferramentas que melhoram o atendimento ao paciente, padronizam resultados e agilizam procedimentos.

Palavras-chave: inteligência artificial; equipamento automático; Digitalização.

Introducción

La integración de la automatización en los laboratorios clínicos ha mejorado la eficacia, el rendimiento y la calidad de diversos procesos industriales y científicos. Con el tiempo, las herramientas mecanizadas han sustituido a las tareas manuales, y los recientes avances en robótica y tecnología de la información han automatizado aún más procesos que antes dependían exclusivamente de la mano de obra humana (Holland & Davies, 2020).

A pesar de estos avances, muchos laboratorios de investigación académica siguen dependiendo de la manipulación manual, sobre todo para los procedimientos experimentales llevados a cabo por investigadores individuales. Sin embargo, en estos ámbitos se están adoptando progresivamente sistemas automatizados (Holland & Davies, 2020).

La automatización de los laboratorios se consigue mediante el uso de instrumentos como los analizadores automáticos, que miden las características químicas y biológicas con escasa intervención humana. Estos analizadores pueden ser de flujo continuo, que procesan muestras de forma continua, o discretos, que analizan muestras líquidas rápidamente en cubetas separadas. La

elección del sistema de automatización depende del flujo de trabajo y de las necesidades específicas de cada laboratorio (2).

Por otra parte, la integración de la inteligencia artificial, como parte de la actualización dentro de los laboratorios clínicos ha repercutido significativamente en la productividad y la precisión. La IA ha revolucionado la asistencia sanitaria al mejorar la atención al paciente y la calidad de vida. Sus rápidos avances ofrecen la posibilidad de transformar la práctica clínica, mejorando la precisión diagnóstica y la eficiencia operativa (3).

La falta de equipos automatizados en un laboratorio clínico puede dificultar la eficacia, la organización y la calidad de las pruebas. Sin automatización los laboratorios se enfrentan a problemas como el aumento de los errores humanos, tiempos de procesamiento más lentos y resultados incoherentes. Además, los sistemas manuales requieren más espacio, personal y recursos, lo que se traduce en mayores costes operativos (4).

La ausencia de automatización también limita la estandarización y puede crear dificultades en la gestión de bioespecímenes y en la formación del personal. En general, sin automatización, los laboratorios tienen dificultades para satisfacer la creciente demanda de precisión, productividad y rentabilidad en el diagnóstico.

Los errores o ineficiencias en cualquier fase del proceso de pruebas de laboratorio pueden alterar el flujo de trabajo general y en última instancia afectar a los diagnósticos impartidos por el laboratorio. Un sistema de información de laboratorio (SIL) agiliza y facilita las interacciones dentro del proceso de pruebas, garantizando la realización fluida de las tareas y la identificación de errores (5).

Sin embargo, muchos errores en los resultados de laboratorio se deben a sistemas LIS complejos propensos a errores y mal diseñados. Estos problemas se agravan cuando el SIL conecta los datos de pacientes y pruebas de múltiples unidades e instituciones lo que complica aún más las interacciones del sistema y el intercambio de datos. Además, los factores humanos, como la identificación incorrecta del paciente o la solicitud de pruebas, también contribuyen a los errores (5).

La automatización en los laboratorios clínicos, mediante los sistemas autónomos de laboratorio, está transformando la eficiencia y precisión de los procesos diagnósticos. Los SDL aceleran los flujos de trabajo experimentales y permiten una planificación autónoma lo que mejora la velocidad y precisión de las pruebas clínicas (6).

Estos sistemas automatizados facilitan la integración de hardware y software con la infraestructura de los laboratorios, optimizando el manejo de muestras y la interpretación de resultados. En América del Sur, su implementación promete mejorar significativamente la calidad y eficiencia de los servicios de salud, aunque también presenta desafíos en su integración y niveles de automatización (6)

El análisis de datos ha cobrado importancia en Ecuador para la toma de decisiones en sectores clave, incluyendo la salud. En el ámbito de los laboratorios clínicos, la automatización de procesos mejora la precisión y eficiencia en los diagnósticos. El uso de sistemas automatizados en Ecuador, encontrando que, aunque su implementación es reciente ya se evidencian beneficios en la productividad de los laboratorios. Sin embargo, se destaca la necesidad de más investigaciones, medidas de seguridad de datos e interoperabilidad institucional para maximizar su impacto en la salud pública del país (7).

Objetivo General

- Determinar el Impacto del Uso de Sistemas Automatizados en la Productividad y Precisión del Laboratorio Clínico

Objetivo Específicos

- Analizar cómo la automatización de procesos en los laboratorios clínicos ha mejorado la eficiencia operativa y la gestión de muestras.
- Identificar los beneficios económicos derivados de la implementación de sistemas automatizados en los laboratorios clínicos.
- Indagar en la contribución de los sistemas automatizados en la reducción de errores humanos y la mejora de la precisión de los diagnósticos.

Metodología

Diseño y tipo de estudio:

Este estudio es de diseño documental, tipo descriptivo, basado principalmente en una revisión sistemática de la información mediante la técnica de lectura crítica de fuentes, tales como artículos originales y libros.

Criterios de elegibilidad

Criterios de inclusión fueron: Artículos originales, Artículos de texto completo, documentos e investigaciones publicadas dentro de los últimos 5 años, fuentes indexadas, sitios web de páginas oficiales tales como la OMS, CDC en idiomas como español e inglés.

Criterios de exclusión fueron: Se excluyeron documentos de repositorios, informes, cartas al lector, simposios, guías, blogs, documentos de páginas web no oficiales, opiniones de expertos y todos aquellos artículos fuera de la fecha determinada.

Búsqueda de información:

La información se obtuvo mediante buscadores científicos como: Google académico PubMed, Elsevier, Scielo, Springer link.

Estrategias de búsqueda:

La investigación empleó la recolección de datos de publicaciones científicas de los últimos 5 años, desde 2020 hasta 2024, en diversas bases de datos como PubMed, Google Scholar, Science Direct y NCBI, Springer Link , La estrategia de búsqueda incluyó el uso de palabras clave como "Laboratorios", "tecnología", "Automatización", "Productividad", "Gestión de calidad", y el empleo de operadores booleanos como AND, OR, NOT, además de términos MeSH. Se utilizaron combinaciones como "AUTOMATIZACION" AND "PRODUCTIVIDAD", "ACTUALIZACION" OR "PRECISIÓN", NOT "LABORATORIO".

Selección de estudio:

Tras la búsqueda de información relevante, se realizó una lectura crítica para seleccionar datos pertinentes al tema en base al esquema PRISMA.

Consideraciones Éticas

El presente estudio cumple con el rigor de los aspectos éticos relacionados a la investigación como protección de confidencialidad, respetando los derechos de autor mediante la correcta citación en el formato Vancouver, teniendo en cuenta la revisión y aprobación del consejo científico de la Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Resultados

Tabla 1.- Analizar cómo la automatización de procesos en los laboratorios clínicos ha mejorado la eficiencia operativa y la gestión de muestras

Autor/Referencia	Año de publicación	Metodología	Área de muestras procesadas	Calidad de los resultados	Tasa de errores en el manejo de muestras	Tasa de utilización de los equipos
Claudia Archetti et al (8)	2020	Caso Practico	hematología, Bioquímica	Resultados fiables con garantía de seguridad a los pacientes	Reduce la tasa de errores	100%
Yaser A Al Naam et al (9)	2020	Meta-analisis	hematología, Bioquímica, serología	Calidad y resultados siempre en mejora	La automatización reduce errores humanos	95%
Dan Assaf et al (10)	2020	Estudio Retrospectivo	serología	Resultados óptimos y precisos	Bajo Errores	en 88%
Daniel Herman et al (11)	2021	Revision Sistemática	Hematología y bioquímica	Eficacia en los resultados y óptima calidad	Errores en reducción	en 98%
Yan Cheng Yang et al (Cheng Y, Assaf D, Gutman Y, et al, 2021)	2021	Revision Sistemática	Patología	Altos resultados en calidad	Libre de errores	de 93,67%
Hooman Rashidi et al (13)	2021	Revision Sistemática	Bioquímica, serología	Mejora en los resultados a lo largo del uso de la automatización	Bajo Errores	en 90%
Krishnaraj Chadaga et al (14)	2022	Estudio de caso	Serología	Puntuaciones de alta calidad	Valores límites de errores	91%
Sudipta Roy et al (15)	2022	Revision Sistemática	Todo tipo de muestra biológica	Precisión de los resultados	Reducción de errores	90%

Stefani Thomas et al (16)	N. 2022	Estudio experimental	Patología	Resultados más confiables	Margen de errores bajos	97%
Muhammad Tariq Pervez et al (17)	2022	Revision Sistemática	Biología Molecular	Mejora en los resultados en periodos de corto tiempo	Margen de error bajo	99%
Matthew Hanna et al (18)	G. 2022	Revision Sistemática	Patología	Resultados validados con garantía y eficacia	Pueden causar errores significativos en descuidos del operador	90%
Giovanny Sosa et al (19)	Haro 2023	Caso Practico	Hematología	Resultados precisos	Sin errores	85%
Sarina Aminizadeh et al (20)	2023	Revision Sistemática	Muestras biológicas	Resultados en constantes mejoramiento	Bajo en errores	89%
Hazim Yahya Alzahrani et al (21)	Ahmed 2024	Revision de literatura	Hematología	Precisión y calidad de los resultados	Reducción de la tasa de errores	90%
Shikai Wang et al (22)	et 2024	Estudio de caso	Hematológicos	Resultados confiables	Reducción de errores	96%

Análisis e Interpretación de Resultados

El análisis de los resultados indica que la automatización en los laboratorios clínicos mejora significativamente la calidad de los resultados, con un notable impacto en la reducción de errores. La mayoría de los estudios muestran tasas de error bajas o nulas, lo que refleja una mejora continua de la precisión a lo largo del tiempo. Los equipos automatizados también muestran altos índices de utilización, lo que pone de manifiesto su eficacia operativa. Aunque las tasas de error varían según los estudios, la tendencia general muestra una reducción sustancial de los errores, lo que subraya los beneficios de la automatización para la calidad y la eficiencia en los laboratorios clínicos. Además, la fiabilidad de los resultados y la mejora continua de las muestras procesadas son elementos clave, con un alto porcentaje de equipos utilizados de forma eficiente.

Tabla 2.- Identificar los beneficios económicos derivados de la implementación de sistemas automatizados en los laboratorios clínicos

Autor/Referencia	Año de publicación	Metodología	Impacto en la reducción de costo	Aumento en la capacidad de procesamiento	Mejora en la competitividad del laboratorio
Chaochao Ma et al (23)	2020	Revision Sistemática	Inversiones en control de calidad constante ayudara a la producción y costos	Aceleración de la capacidad de procesamiento	Integridad y seguridad de la información clínica de cada paciente
Giovanni Lujan et al (24)	2021	Revision Sistemática	Inversión de equipo de alto costo por resultados en menor tiempo y menores costes a largo plazo	Rendimiento alto y optimo del procesamiento de las muestras	Aumento en la credibilidad
Simona Andreea Apostu et al (25)	2021	Revision Sistemática	Una sola inversión para evitar futuras complicaciones	Aumento de calidad de los resultados en menor tiempo	Mejora en la demanda de muestras procesadas
Mohd Javaid et al (26)	2021	Experimental	los costes de inversión en gestión de calidad aseguran un menor rango margen de error en cuanto a las perdidas	Eficiencia y mayor análisis de muestras	Mejora en la calidad del laboratorio
José María López Ortega et al (27)	2022	Estudio Comparativo	Mayor cantidad de muestra procesadas con menor uso de reactivo	Ahorro de tiempo y costo	Un laboratorio con mayor recurso tecnológico tiene mayor demanda
Diane C Halstead et al (28)	2023	Revision Sistemática	Menores costos con un menor riesgo de perdidas	Aumento de la capacidad de procedimiento	Mejorando la eficiencia con la ayuda de la automatización
Nwakamma Ninduwezuor-Ehiobu et al (29)	2023	Revision Sistemática	Materiales permiten producir productos más duraderos y	Aumentan la capacidad de procedimiento al permitir procesos más	Elevación de prestigio por la aplicación de la nanotecnología

				eficientes, lo que a largo plazo disminuye los costos de mantenimiento y reparación	rápidos y en los laboratorios flexibles	
Nishad Nawaz et al (30)	2024	Estudio Descriptivo		Los hallazgos indican que variables como la precisión, la potencia y capacidad de muestras en bajos costos	Ahorro de tiempo y costo del procesamiento	Mejora en las organizaciones reconocen la necesidad de actualizar la necesidad para lograr un rendimiento óptimo y sobrevivir en el panorama competitivo.
Jide Adedamola Afolabi et al (31)	2024	Estudio de Caso		Aumentando al mismo tiempo su capacidad para llevar a cabo procedimientos complejos.	Mejorar su productividad e innovación.	Crecimiento económico
Zhaoxia Yi et al (32)	2024	Revision Sistemática		Operaciones eficientes y costes más bajos	Agilizar los procesos y mejorar la calidad	Eficiencia operativa
Joseph Amankwah Amoah et al (33)	2024	Revision Sistemática		Control de costes por mayor productividad	Aumento de la capacidad de los procedimientos	Generación Creativa para la ayuda de la eficiencia
Lim Song Tzer et al (34)	2024	Revision Sistemática		Para mantener la rentabilidad y unos precios de venta promedio	Aumento de la capacidad de procedimiento	Estrategia y la innovación son cruciales para mejorar la competitividad en el mercado
Endang Purwaningsih et al (35)	2024	Revision Sistemática		La adopción de la tecnología Blockchain mejora la eficiencia de la cadena de suministro, lo que contribuye a la reducción	Mejorar la eficiencia operativa	Mejoramiento en la gestión del laboratorio

de costos operativos

Islam Ibrahim et al (36)	2024	Estudio de Caso	Reducir costos al eliminar desperdicios, optimizar procesos	Mejorar la eficiencia operativa	Puntualidad y la reducción de errores, lo que aumenta la satisfacción de los clientes
Kehinde Andrew Olu-lawal et al (37)	2024	Revisión Sistemática	Costos de inversión para el procesamiento de muestras a largo plazo	Mejorar la eficiencia de los procesos	Resultados rápidos y eficientes

Análisis e Interpretación de Resultados

La tabla muestra diversos estudios sobre la mejora de la competitividad, la capacidad de procesamiento y la reducción de costos en laboratorios. Un hallazgo clave es que la reducción de costos se logra principalmente a través de inversiones en control de calidad, tecnología avanzada y optimización de procesos. En cuanto al aumento en la capacidad de procesamiento, se destaca que la automatización y el uso de tecnologías como nanotecnología y Blockchain permiten un procesamiento más rápido y eficiente. Finalmente, la mejora en la competitividad se relaciona con el aumento de la credibilidad, la innovación tecnológica y la calidad del servicio brindado.

Tabla 3.- Indagar en la tasa de contribución de los sistemas automatizados en la reducción de errores humanos y la mejora de la precisión de los diagnósticos

Autor/Referencia	Año de publicación	Metodología	Tasa de reducción de errores dentro del laboratorio	Tasa de mejoramiento en la precisión de los resultados
Keping Yu et al (38)	2020	Estudio de caso	91,58%	90,88%
John Beshears et al (39)	2020	Metaanálisis	30%	70%
Janice L Kwan et al (40)	2020	Metaanálisis	24%	76%

N. Kapilan et al (41)	2020	Experimental	10%	90%
James H. Nichols et al (42)	2020	Estudio de caso	5.1%	95.99%
Iddrisu Bariham et al (43)	2020	Estudio transversal	48%	52%
Benjy Marks et al (44)	2021	Experimental	1,40%	71,50%
Karrar Hameed Abdulkareem et al (Karrar H, Mazin A, Ahmad S, Muhammad A et al, 2021)	2021	Estudio de caso	8,70%	92,30%
Micah S. Ziegler et al (46)	2021	Metaanálisis	25%	75%
Atheer Awad et al (47)	2021	Revision Sistemática	22%	78%
Henrik Stranneheim et al (48)	2021	Estudio de caso	40%	60%
Zubair Ahmad et al (49)	2021	Revision Sistemática	2%	98%
Miao Cui et al (50)	2021	Experimental	26.8%	73.2%
Ashraf Alam (51)	2022	Estudio de caso	0,10%	99, 91%
Warish Ahmed et al (52)	2022	Revision Sistemática	17%	83%

Análisis e Interpretación de los Resultados

Los resultados muestran una variabilidad significativa en la tasa de reducción de errores y la mejora de la precisión de los resultados. En general la tasa de mejora de la precisión supera a la tasa de reducción de errores y algunos estudios muestran una mejora de la precisión de hasta el 99,91%. Sin embargo, otros estudios muestran una mejora menor de la precisión, con sólo un 71,5%. Esto refleja la eficacia variable de las intervenciones y metodologías aplicadas siendo los enfoques experimentales y de estudio de casos más eficaces en muchos de los estudios analizados.

Discusión

Se ha demostrado que el aumento de la precisión y la productividad en los laboratorios clínicos depende sobre todo del uso de tecnología automatizada. La automatización también favorece la uniformidad, lo que aumenta la rentabilidad operativa al permitir una mayor capacidad de procesamiento con menos recursos. Numerosos estudios han demostrado que la automatización en

los laboratorios clínicos puede reducir los errores hasta en un 99,91 %, revolucionando la eficiencia y la precisión del diagnóstico. Esta tecnología aumenta la capacidad de procesamiento y la competitividad del sector, al tiempo que reduce los costes mediante el control de calidad y procedimientos de vanguardia como el blockchain y la nanotecnología.

Aunque las tasas de mejora oscilan entre el 71,5% y el 99,91% entre las investigaciones, la tendencia general indica que la precisión siempre está mejorando. El efecto positivo de la automatización en la calidad del servicio se pone de relieve por la combinación de tecnología innovadora y técnicas eficaces. No obstante, la integración de la tecnología sigue planteando problemas, como la gestión de los datos y la compatibilidad de los sistemas. Para optimizar sus ventajas en entornos como el ecuatoriano, donde la adopción es aún incipiente, deben abordarse cuestiones como la infraestructura, la seguridad de los datos y la formación. En resumen, la automatización es un instrumento crucial para hacer frente a las crecientes necesidades de precisión y eficacia de la asistencia sanitaria contemporánea.

Conclusión

La automatización de los laboratorios clínicos ha mejorado la calidad y la eficiencia de los diagnósticos al reducir los errores y maximizar los recursos. Los sistemas autónomos y los analizadores automatizados son ejemplos de herramientas que mejoran la atención al paciente, estandarizan los resultados y aceleran los procedimientos. La integración de la inteligencia artificial mejora la precisión y la eficiencia, sobre todo en campos como el análisis de datos y la gestión de muestras. No obstante, siguen existiendo problemas de implantación, interoperabilidad y errores humanos. Aunque se necesitan más estudios y avances tecnológicos, el despliegue de tecnologías automatizadas en lugares como Ecuador y Sudamérica muestra resultados alentadores. En definitiva, la automatización es necesaria para satisfacer las crecientes demandas de precisión, eficiencia y economía de los laboratorios clínicos contemporáneos.

Referencias

1. Holland , Davies. Automation in the Life Science Research Laboratory. Front Bioeng Biotechnol. 2020 Agosto; 8.

2. Al Naam YA, Elsafi S, al e. The Impact of Total Automaton on the Clinical Laboratory Workforce: A Case Study. *J Healthc Leadersh*. 2022 Mayo; 14: p. 55–62.
3. Alowais S, Alghamdi S, Alsuhebany ,N, al e. Revolutionizing healthcare: the role of artificial intelligence in clinical practice. *BMC Medical Education*. 2023 Septiembre; 23(689).
4. Lippi G, Da Rin. Advantages and limitations of total laboratory automation: a personal overview. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)*. 2019 Febrero.
5. Arifin , Mohd Yusof. Error evaluation in the laboratory testing process and laboratory information systems. *J Med Biochem*. 2022 Agosto; 41(1): p. 21-31.
6. Tom G, Schmid S, al e. Self-Driving Laboratories for Chemistry and Materials Science. *Chemical Reviews*. 2024 Agosto; 12(16).
7. Ayala Chauvin M, Avilés Castillo , Buele J. Exploring the Landscape of Data Analysis: A Review of Its Application and Impact in Ecuador. *Computers*. 2023 Julio; 12(7): p. 146.
8. Archetti , Esperanza , Garrafa. Gestión de un laboratorio clínico automatizado: desafíos y oportunidades de optimización. *Revista EURO sobre procesos de decisión*. 2020 Mayo; 8(1-2).
9. Naam Y, Elsafi S, Jahdali M, Shaman R, Qurouni B, Zahrani E. El impacto de la automatización total en el personal de laboratorio clínico: un estudio de caso. *Líderes en salud J*. 2020 Mayo; 14: p. 55–62.
10. Assaf D, Gutman Y, Neuman Y et al. Utilization of machine-learning models to accurately predict the risk for critical COVID-19. *Intern Emerg Med*. 2020; 15(1): p. 1435–1443.
11. Herman D, Bos J, Hebl V, Oberg A, et al. Inteligencia artificial y mapeo de una nueva dirección en la medicina de laboratorio: una revisión. *Química clínica*. 2021 Noviembre; 67(11).
12. Cheng Y, Assaf D, Gutman Y, et al. Utilización de modelos de aprendizaje automático para predecir con precisión el riesgo de COVID-19 crítico. *Pasante Emerg Med*. 2021; 15.
13. Hooman H, Nam T, Albahra Samer, Dang L. Aprendizaje automático en la atención médica y la medicina de laboratorio: descripción general del aprendizaje supervisado y Auto-ML. *Revista Internacional de Hematología de Laboratorio*. 2021 Diciembre; 43(1): p. 15–22.

14. Chadaga K, Chakraborty C, Prabhu S et al. Clinical and Laboratory Approach to Diagnose COVID-19 Using Machine Learning. *Interdisciplinary Sciences: Computational Life Sciences*. 2022; 14(1): p. 452–470.
15. Sudipta R, Tanushree M, Se-Jung L. Desmitificando el aprendizaje supervisado en la salud 4.0: una nueva realidad de transformación de la medicina diagnóstica. *Diagnostics (Basel)*. 2022; 12(10): p. 2549.
16. Thomas S, Yingwei H, Pan J, Punit S et al. Caracterización proteómica y glicoproteómica integrada del carcinoma seroso de ovario de alto grado en humanos. *Cell Rep*. 2022 Octubre; 33(3): p. 108276.
17. Tariq M, Mirza H, Salman Q, Anwar T, al et. Una revisión exhaustiva del rendimiento de las plataformas de secuenciación de próxima generación. *Biomedic Research International*. 2022 Septiembre; 1(1): p. 1-12.
18. Hanna M, Ardon O, Reuter V, Sirintrapun S et al. Integración de la patología digital en la práctica clínica. *Patología Moderna*. 2022 Febrero; 35(2).
19. Haro G, Venkatesan V. Transiciones personificadas de la atención médica con un sistema automatizado de citas médicas: logística. *Revista de Resultados Negativos Farmacéuticos*. 2023; 14(3): p. 2832-2839.
20. Aminizadeh S, Heidari A, Toumaj S, Darbandi M et al. Las aplicaciones de técnicas de machine learning en el procesamiento de datos médicos basadas en computación distribuida e Internet de las Cosas. *Métodos y Programas Computacionales en Biomedicina*. 2023 Noviembre; 241.
21. Anis B, Ahmed H, Muhammed E, Mohammed A. Evaluación de los niveles de preparación y concienciación de los trabajadores sanitarios con respecto a la infección por COVID-19 en entornos de bajos recursos. *Soy J Trop Med Hyg*. 2024; 103(2): p. 828–33.
22. Wang S, Xu K, Ling Z. Predicción y optimización de la potencia de los chips basada en el aprendizaje profundo: un enfoque EDA inteligente. *Revista Internacional de Investigación Innovadora en Ciencia y Tecnología de la Computación*. 2024; 12(4): p. 77-87.
23. Chaochao M, Wang X, Wu J, Cheng X et al. Estudios de big data del mundo real en medicina de laboratorio: estado actual, aplicación y consideraciones futuras. *Bioquímica Clínica*. 2020 Octubre; 84: p. 21-30.

24. ujan G, Quigley J, Hartman D, Parwani A et al. Diseccionando el caso de negocio para la adopción e implementación de la patología digital: un documento técnico de la Asociación de Patología Digital. *Revista de Informática de Patología*. 2021 Diciembre; 12(1).
25. Apostu S, Vasile V, Veres C. Externalidades de la implementación de Lean en laboratorios médicos. Optimización de procesos vs. adaptación y flexibilidad para el futuro. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 18(23): p. 12309.
26. Mohd J, Abid H, Ravi P, Rajiv S. Importancia de la Calidad 4.0 para la mejora integral del sector manufacturero. *Sensores Internacionales*. 2021; 2: p. 100109.
27. López J, Salvador P, Acevedo D, Estañ N. Anticuerpos anti-receptor de TSH (TRAb): Comparación de dos inmunoensayos automatizados de tercera generación ampliamente utilizados en laboratorios clínicos e interpretación de resultados. *PLoS One*. 2023; 17(7): p. E0270890.
28. Halstead D, Sautter R. Una revisión de la literatura sobre cómo podemos abordar la escasez de personal de los científicos de laboratorio médico. *Medicina de laboratorio*. 2023; 54(1): p. e31–e36.
29. Nwakamma E, Alaba O, Daraojimba C, Ofonagoro K et al. Xplorando la integración de materiales innovadores en la fabricación moderna para promover la competitividad de los ee. uu. en una economía global sostenible. *Revista de Ciencia y Tecnología de la Ingeniería*. 2023; 4(3): p. 140-168.
30. Nishad N, Hemalatha A, Barani K, Vijayakumar G. La adopción de la inteligencia artificial en las prácticas de gestión de recursos humanos. *Revista Internacional de Información de Gestión de Datos*. 2024 Abril; 4(1): p. 100208.
31. Adedamola J, Sarkodie G, Apatu V. Stimulating Economic Growth and Innovations by Leveraging Bioinformatics in Biotechnology SMEs. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 2024 Julio; 23(2): p. 211–221.
32. Zhaoxia Y, Shirley A. The impact of ai innovation management on organizational productivity and economic growth: an analytical study. *International Journal of Business Management and Economic Review*. 2024; 7(3).
33. Amankwah J, Abdalla S, Mogaji E, Elbanna A et al. La inminente disrupción de las industrias creativas por la IA generativa: oportunidades, desafíos y agenda de investigación. *Revista Internacional de Gestión de la Información*. 2024 Diciembre; 79: p. 102759.

34. Lim S, Syazwani F, Rasheedul H, Noorliza B et al. Exploring the Impact of Marketing Mix Products Transformation. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*. 2024; 22(2): p. 1477-1492.
35. Purwaningsih E, Muslikh M, Suhaeri S, Basrowi B. Utilizing blockchain technology in enhancing supply chain efficiency and export performance, and its implications on the financial performance of SMEs. *Uncertain Supply Chain Manag*. 2024; 12(1): p. 449-460.
36. Islam I, Magda S, Omaima G, Adel Z et al. Uso de Lean Six Sigma para mejorar la puntualidad de los resultados de las pruebas de laboratorio clínico en un hospital universitario de Egipto. *Revista Internacional de Lean Six Sigma*. 2024 Marzo; 13(5): p. 13.
37. Kehinde A, Oladiran K, Emmanuel C, Adeniyi K et al. El papel de la metrología de precisión en la mejora de la calidad de fabricación: una revisión exhaustiva. *Revista de Ciencia y Tecnología de la Ingeniería*. 2024; 5(3): p. 728-739.
38. Keping Y, Largo L, Mamoun A, Liang T et al. Solución de seguridad vial basada en Deep Learning para una combinación de vehículos autónomos y manuales en un sistema de transporte inteligente habilitado para 5G. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2020; 22(7): p. 4337 - 4347.
39. Beshears J, Kosowsky H. Empujones: Progreso hasta la fecha y direcciones futuras. *Comportamiento Organizacional y Procesos de Decisión Humana*. 2020 Noviembre; 161(1): p. 3-19.
40. Kwan J, Lo L, Ferguson J, Goldberg H et al. Sistemas informatizados de apoyo a la toma de decisiones clínicas y mejoras absolutas en la atención: metaanálisis de ensayos clínicos controlados. *BMJ*. 2020.
41. Kapilan N, Vidhya P, Gao X. Laboratorio virtual: una bendición para la educación en ingeniería mecánica durante la pandemia de Covid-19. *Educación Superior para el Futuro*. 2020; 8(1): p. 31-46.
42. Nichols J, Alter D, Chen Y, Isbell T et al. Documento de orientación de la AACC sobre la gestión de las pruebas en el punto de atención. *J Appl Lab Med*. 2020; 5(4): p. 762-787.
43. Iddrisu B, Ondigi S, Kii M. Preparación de los instructores de escuelas secundarias superiores de Ghana para la aplicación del aprendizaje en línea en la enseñanza de estudios

- sociales en medio de la pandemia de Covid-19. *Investigación en Educación Social*. 2020; 2(1): p. 52–64.
44. Benjy M, Jacqueline T. Adopción de la tecnología de realidad virtual en la educación superior: una evaluación de cinco semestres de enseñanza en un laboratorio especialmente diseñado. *Educ inf technol*. 2021; 27: p. 1287–1305.
45. Karrar H, Mazin A, Ahmad S, Muhammad A et al. Realización de un sistema eficaz de diagnóstico de COVID-19 basado en el aprendizaje automático y el IoT en un entorno hospitalario inteligente. *Revista de Internet de las Cosas del IEEE*. 2021; 8(21): p. 15919-15928.
46. Miqueas S JE. Reexaminar las tasas de mejora de la tecnología de baterías de iones de litio y la disminución de costos. *Energy Environ Sci*. 2021; 14(4): p. 1635–51.
47. Atheer A, Sarah J, Tomás D, Jun J et al. Atención sanitaria conectada: Mejorar la atención al paciente mediante tecnologías de salud digital. *Revisiones avanzadas de administración de medicamentos*. 2021; 178: p. 113958.
48. Stranneheim H, Lagerstedt K, Magnusson M et al. Integración de la secuenciación del genoma completo en un entorno sanitario: altas tasas de diagnóstico en múltiples entidades clínicas en 3219 pacientes con enfermedades raras. *Genoma Medical*. 2021; 13(40).
49. Ahmad Z, Rahim S, Zubair M et al. Inteligencia artificial (IA) en medicina, aplicaciones actuales y papel futuro con especial énfasis en su potencial y promesa en patología: impacto presente y futuro, obstáculos, incluidos los costos y la aceptación entre los patólogos, consideraciones pr. *Diagn Pathol*. 2021; 16(24).
50. Miao C, Zhang D. Inteligencia artificial y patología computacional. *Investigación de laboratorio*. 2021; 101(4): p. 412-422.
51. Ashraf A. Empleo de robots de aprendizaje adaptativo y tutoría inteligente para aulas virtuales y campus inteligentes: reforma de la educación en la era de la inteligencia artificial. *Computación Avanzada y Tecnologías Inteligentes*. 2022; 914: p. 395-406.
52. Ahmed W, Simpson S, Bertsch P, Bibby K et al. Minimización de errores en la detección y cuantificación de RT-PCR del ARN del SARS-CoV-2 para la vigilancia de aguas residuales. *Ciencia del Medio Ambiente Total*. 2022 Enero; 805(20): p. 149877.

© 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/>).