

RIESGOS ASOCIADOS A MAQUINARIA PESADA Y PROCESO DE REFINACIÓN EN LA INDUSTRIA AZUCARERA

RISKS ASSOCIATED WITH HEAVY MACHINERY AND THE REFINING PROCESS IN THE SUGAR INDUSTRY

Iván Patricio Viteri García¹, Anthony Jahir Jiménez Peñaloza², Melany Michel Arellano Jorgge³, Nicky Johan Murillo Zavala⁴

{ivan.viteriga@ug.edu.ec¹, ajimenezp@faciag.utb.edu.ec², marellanoj@faciag.utb.edu.ec³, nmurilloza@faciag.utb.edu.ec⁴}

Fecha de recepción: 12/06/2026 / Fecha de aceptación: 30/06/2026 / Fecha de publicación: 08/07/2026

RESUMEN: La industria azucarera implica diferentes riesgos laborales dado el uso constante de maquinaria pesada y la refinación, donde logra afectar la salud y seguridad de los colaboradores, la exposición a los equipos industriales, sustancias químicas, excesivo ruido y elevadas temperaturas aumenta la probabilidad de patologías y accidentes, por ende, es importante la aplicación de medidas de control y prevención que aseguran el entorno laboral eficiente y seguro. El presente estudio tuvo como objetivo analizar la viabilidad y eficiencia de las intervenciones basada en la prevención de la industria azucarera en base a 50 referencias, con especificación de riesgos relacionados con la maquinaria y la refinación donde se considera la aplicación en el ámbito ecuatoriano. Se efectuó una revisión narrativa basada en un enfoque mixto situado en 50 referencias vinculados con riesgos ocupacionales en maquinaria pesada y refinación del azúcar. Se empleó Microsoft Excel y Word para el análisis y redacción de datos. El estudio incluyó la clasificación y validación de información, además se aplicó un análisis descriptivo, comparativo y correlacional para la identificación de relaciones entre la reducción de accidentes laborales, automatización y el control de seguridad. Se pone en evidencia que las estrategias de seguridad industrial aplica en la industria azucarera disminuyendo de forma significativa los riesgos laborales relacionados con la maquinaria pesada y los procesos de refinación, las intervenciones eficientes lograron el mantenimiento predictivo, sistemas LOTO, aplicación de ISO 45001 y la ergonomía aplicada, logrando reducir de 34% los accidentes laborales, así mismo, el control químico y térmico optimizó las condiciones operativas y la cultura de seguridad donde se persiste los vínculos con la variabilidad y tecnificación de los aspectos industriales. Se concluye que la integración de estrategias técnicas, organizacionales y preventivas constituye un modelo eficaz para reducir la siniestralidad laboral y fortalecer la gestión de la seguridad en la industria azucarera.

¹Universidad de Guayaquil - Ecuador, <https://orcid.org/0000-0003-0522-3302>; 0999545437.

²Universidad Técnica de Babahoyo – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0005-2942-1292>; 0995493031.

³Universidad Técnica de Babahoyo – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0009-3706-1548>; 0960633290.

⁴Universidad Técnica de Babahoyo – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0007-4292-5932>; 0968876077.

Palabras clave: Ergonomía industrial, industria azucarera, LOTO, maquinaria pesada, refinación, riesgos químicos

ABSTRACT: The sugar industry involves various occupational hazards due to the constant use of heavy machinery and the refining process, which can affect the health and safety of employees. Exposure to industrial equipment, chemicals, excessive noise, and high temperatures increases the likelihood of illnesses and accidents; therefore, it is important to implement control and prevention measures that ensure an efficient and safe work environment. The objective of this study was to analyze the feasibility and effectiveness of prevention-based interventions in the sugar industry, drawing on 50 references and focusing specifically on risks related to machinery and refining, with a view to their application in the Ecuadorian context. A narrative review was conducted using a mixed-methods approach based on 50 references related to occupational risks in heavy machinery and sugar refining. Microsoft Excel and Word were used for data analysis and reporting. The study included the classification and validation of information; furthermore, descriptive, comparative, and correlational analyses were applied to identify relationships between the reduction of workplace accidents, automation, and safety controls. It is evident that the industrial safety strategies implemented in the sugar industry have significantly reduced occupational risks related to heavy machinery and refining processes. Efficient interventions enabled predictive maintenance, LOTO systems, the implementation of ISO 45001, and the application of ergonomics, resulting in a 34% reduction in workplace accidents. Furthermore, chemical and thermal control optimized operating conditions and the safety culture, where links to the variability and technological advancement of industrial aspects persist. It is concluded that the integration of technical, organizational, and preventive strategies constitutes an effective model for reducing workplace accidents and strengthening safety management in the sugar industry.

Keywords: Industrial ergonomics, sugar industry, LOTO, heavy machinery, refining, chemical risks

INTRODUCCIÓN

La industria azucarera constituye uno de los sectores agroindustriales de mayor relevancia a nivel mundial debido a su contribución a la producción de alimentos, la generación de empleo y el desarrollo económico. Sin embargo, sus procesos productivos comprenden actividades de elevada complejidad operativa que implican el uso de maquinaria pesada, la manipulación de sustancias químicas y la exposición permanente a agentes físicos, factores que incrementan la probabilidad de accidentes laborales y enfermedades ocupacionales. En consecuencia, la gestión de la seguridad y salud en el trabajo se ha consolidado como un componente estratégico para garantizar la sostenibilidad operativa, la protección del talento humano y la continuidad de los procesos industriales (1–5).

En diversos países se han implementado sistemas de gestión de seguridad y salud ocupacional, programas de mantenimiento preventivo, controles de ingeniería y protocolos de prevención

orientados a disminuir la siniestralidad laboral en entornos industriales. No obstante, la evidencia científica demuestra que la eficacia de estas intervenciones depende de las condiciones tecnológicas, organizacionales y económicas de cada contexto productivo, por lo que las estrategias desarrolladas en industrias altamente tecnificadas no siempre pueden extrapolarse directamente a países en desarrollo (6–10).

En el contexto ecuatoriano, la industria azucarera continúa enfrentando importantes desafíos relacionados con la operación de maquinaria pesada, sistemas de molienda, calderas, evaporadores y procesos de refinación que implican la manipulación de sustancias químicas, elevadas temperaturas, ruido y vibraciones. Estas condiciones incrementan la exposición de los trabajadores a riesgos mecánicos, ergonómicos, térmicos y químicos, cuya prevención requiere la implementación de estrategias integrales adaptadas a las características operativas y tecnológicas del sector. A pesar de los avances registrados en materia de seguridad industrial, la literatura científica nacional sobre la eficacia de estas intervenciones continúa siendo limitada y dispersa, dificultando la transferencia de experiencias exitosas al contexto ecuatoriano.

Desde una perspectiva teórica, la seguridad industrial debe abordarse mediante un enfoque sistémico que considere la interacción entre los factores tecnológicos, organizacionales y humanos. En este sentido, el modelo del queso suizo propuesto por Reason explica que los accidentes son consecuencia de la alineación de fallas activas y condiciones latentes presentes dentro del sistema organizacional, mientras que la jerarquía de controles desarrollada por el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) establece que la eliminación o sustitución del peligro constituye la medida preventiva de mayor eficacia, seguida de los controles de ingeniería, los controles administrativos y, finalmente, el uso de equipos de protección personal como última barrera de control (11–14). Estos modelos proporcionan el fundamento conceptual para comprender la necesidad de implementar estrategias preventivas integrales dentro de la industria azucarera.

La evidencia científica disponible demuestra que la reducción de los riesgos laborales requiere la combinación de diversas estrategias preventivas. Entre ellas destacan la aplicación de programas de organización industrial basados en la metodología 5S, que favorecen el orden y la limpieza de las áreas de trabajo; la ergonomía participativa, orientada a adaptar las tareas y los puestos laborales para disminuir la sobrecarga física; los procedimientos de bloqueo y etiquetado de energías peligrosas (LOTO) junto con el mantenimiento predictivo, que reducen la ocurrencia de accidentes asociados a la maquinaria pesada; y los sistemas de ventilación localizada y monitoreo de gases, que contribuyen a controlar la exposición a sustancias peligrosas durante el proceso de refinación. De igual forma, la implementación de sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo basados en la norma ISO 45001 fortalece la cultura preventiva y favorece la mejora continua del desempeño organizacional en materia de seguridad (15–19).

Las investigaciones desarrolladas en diferentes sectores industriales coinciden en que la operación de maquinaria pesada constituye una de las principales fuentes de riesgo ocupacional debido a la posibilidad de atrapamientos, amputaciones, impactos y fallas mecánicas derivadas de deficiencias en el mantenimiento o en la aplicación de procedimientos seguros (20–27).

Paralelamente, los procesos de refinación exponen a los trabajadores a condiciones térmicas extremas, vapor a presión y sustancias químicas potencialmente peligrosas, cuya gestión requiere sistemas de ventilación adecuados, monitoreo ambiental, almacenamiento seguro de productos químicos y capacitación continua del personal para reducir la probabilidad de intoxicaciones, quemaduras y enfermedades ocupacionales (28–36).

Asimismo, diversos estudios destacan que la cultura de seguridad constituye un elemento determinante para la prevención de accidentes laborales. La percepción del riesgo, el liderazgo organizacional, la comunicación efectiva y la participación activa de los trabajadores favorecen el cumplimiento de los procedimientos de seguridad y fortalecen la gestión preventiva dentro de las organizaciones (37–40). En los últimos años, la incorporación de tecnologías asociadas a la Industria 4.0, como sensores inteligentes, monitoreo en tiempo real, automatización industrial y sistemas digitales de mantenimiento, ha permitido mejorar significativamente las condiciones de seguridad en procesos de alto riesgo; sin embargo, su implementación continúa representando un desafío para muchas empresas debido a las limitaciones económicas y tecnológicas existentes, especialmente en países en desarrollo (41–50).

En conjunto, la literatura científica pone de manifiesto que la seguridad en la industria azucarera debe entenderse como un proceso multifactorial en el que convergen factores técnicos, organizacionales y humanos. No obstante, persiste una limitada integración de la evidencia disponible respecto a la eficacia de las intervenciones preventivas aplicadas específicamente a la operación de maquinaria pesada y a los procesos de refinación en el contexto ecuatoriano, lo que evidencia la necesidad de realizar una síntesis crítica que facilite la toma de decisiones basada en evidencia científica.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar la viabilidad y eficiencia de las intervenciones basada en la prevención de la industria azucarera en base a 50 referencias, con especificación de riesgos relacionados con la maquinaria y la refinación donde se considera la aplicación en el ámbito ecuatoriano.

Objetivos específicos.

- Describir los determinantes de riesgos en la industria azucarera relacionados con la utilización de las maquinarias pesadas y la refinación.
- Analizar la eficiencia de las estrategias situada en programa de limpieza y orden (5S) situado en control de energía peligrosa y la prevención.
- Determinar la incidencia de los sistemas de seguridad en el clima organizacional y la severidad de los incidentes.
- Identificar los facilitadores y las barreras de aplicación situada en las normas empresariales.
- Establecer líneas investigativas basadas en los diferentes vacíos con el requerimiento de análisis y adaptabilidad tecnológico a diferencia de los procesos de producción.

No se establecen hipótesis cuantitativas formales, debido a que la revisión es narrativa y mixta, no obstante, se parte de la premisa de que la implementación de intervenciones preventivas que permitirá disminuir la siniestralidad y será viable en la industria azucarera ecuatoriana en base a ajustes organizacionales y técnicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Se acopló un diseño de revisión narrativa crítica basado en un enfoque mixto, las variables del interés definida previamente donde se incluyeron; tipo de intervenciones para la prevención, mediante la intervención, muestra, indicadores de los resultados y particularidades del contexto.

Fuentes de información y materiales

- **Fuentes bibliográficas:** Se consideraron 50 documentos revisados entre los que se identificaron (32 revistas, 8 tesis, 5 libros, y 5 reportes técnicos), vinculados con los riesgos ocupacionales en maquinaria pesada y los procesos industriales de la refinación.
- **Herramientas informáticas**
 - Se empleó Microsoft Excel para la creación de la matriz donde se extraen los datos y el cálculo estadístico.
 - Se aplicó la utilización de Word donde se desarrolló el estudio y las referencias, así mismo, se aplicó la redacción del documento y el control de las variaciones.

Criterios de elegibilidad de la literatura

- **Criterios de inclusión:** instrucción que se aproximan contingencias multifuncionales o interactivas que evalúan las industrias azucareras o los sectores que laboran con maquinarias pesadas que se relacionan con la evolución de la protección del colaborador.
- **Criterios de exclusión:** Se excluyeron documentos que no presentan las evidencias o no poseen aplicaciones teóricas de la tecnología basada en los informes en el área de comercio.

Procedimiento de selección

1. **Clasificación inicial:** Organización de las referencias de acuerdo con la categorización y documento.
2. **Extracción de información:** Se sitúa en el registro realizado en Excel situado en datos importantes basados el tipo de estudio, autor, año, duración, observaciones e indicadores.

3. **Revisión cruzada:** Se valida la información un indagador, donde se completa los datos faltantes y adecuando los inconvenientes.
4. **Evaluación de calidad:** Aplicación de los aspectos cualitativos mediante una rúbrica donde se considera el diseño de estudio, donde se evidencia la claridad y muestra de los hallazgos.
5. **Síntesis de la narrativa:** Integración de los hallazgos en base a los bloques del tema donde se acompaña a la tabla de las comparaciones.
6. **Agregados cuantitativos puntuales:** Se basa en el cálculo de los promedios y los rangos en la reducción porcentual de los indicadores basados en la siniestralidad cuando se analice el reporte de datos comparativos.

Control de la calidad y la validación de la información

Para poner a prueba la veracidad del proceso de selección la evaluación de las referencias fue independientemente sometida a la verificación de los criterios de inclusión y exclusión definidos como criterio de búsqueda y de inclusión y de exclusión. La primera verificación consistía en comprobar la adecuación del tema, el año de publicación, el tipo de documento y la relación con los riesgos ocupacionales provocados por la maquinaria pesada y los de la industria azucarera y los de los procesos de refinación. Un control cruzado de la información que habían extraído comenzó un control cruzado en la información extraída que tenía el propósito de contrastar la información extraída de la matriz de información bibliográfica construida con la aplicación Microsoft Excel. En los casos de disconformidad en la clasificación y la interpretación de la evidencia, se llegó a la resolución por consenso e independencia tras hacer una revisión del documento original en los casos de disconformidad, al objeto de garantizar la uniformidad en la elección y el análisis de las 50 referencias que se incluyeron en el análisis.

Definiciones operativas

Tabla 1. Definiciones operativas

Concepto	Definición operativa	Indicador de verificación
Buenas prácticas industriales + 5S	Agrupación de fundamentos estructurados que fomentan el precepto, saneamiento y patrones en las distintas superficies de labores, disminuyendo peligros que se asocian a esparcimientos, impedimentos y confusiones en la operaria de máquinas grandes.	Índice del cumplimiento del 5S, promedio de los criterios alcanzados en las auditorías internas.
Ergonomía participativa	Tácticas participativas en la cual colaboradores y personal especializado evidencian y demuestran las dificultades biomecánicas que ocasionan por cargas excesivas físicas de trabajo y a su vez sugieren mejorar las tareas forzadas para que haya reducción de las mismas.	Disminución del 30% en las puntuaciones RULA/REBA tras intervención.

Bloqueo- Etiquetado (LOTO)	Procedimiento del control de energías peligrosas que garantiza la desactivación y el aislamiento de maquinaria mediante el mantenimiento o reparación donde se evita los accidentes por activación inesperada.	Promedio del cumplimiento del protocolo LOTO en las intervenciones realizadas.
Mantenimiento predictivo	Habilidades que están centradas en monitorear constantemente la Maquinaria a través de sensores que permiten analizar la documentación ingresada en los datos para evitar que existan errores en la programación y de esta manera pueda haber un funcionamiento seguro.	MTBF (Tiempo medio entre fallas) y promedio de fallas prevenidas.
Sistemas de ventilación industrial	Establecimientos que se han diseñado con la finalidad separar los químicos que causan contaminación y que evaporan los gases nocivos durante el proceso químico de la refinación, disminuyendo la contaminación directa que tiene el colaborador.	Niveles de concentración de los contaminantes dentro de los límites permitidos.
Sensores de gases industriales	Instrumentos que están destinados para detectar la contaminación de químicos por medio de sustancias peligrosas como el azufre que posteriormente previenen alarmas y también a la contaminación directa.	Cantidad de eventos de exposición superior al límite antes y posterior a la implementación.
Clima de seguridad	La apreciación de todos los colaboradores evita que existan más errores laborales en el riesgo organizacional de la seguridad.	Resultados de encuestas basada en la percepción en la escala del 0-100 y se promedia en los reportes de los inconvenientes.
Seguridad de la ISO (45001)	En un proceso normativo que se basa en controles, procesos y normas relacionadas con la mejora de seguridad y la salud laboral.	Nivel basado en el cumplimiento de los requisitos de normas y la reducción de los incidentes en el área laboral.

Análisis de datos

La información extraída de las 50 referencias seleccionadas fue organizada en una matriz bibliográfica elaborada en Microsoft Excel, en la que se registraron variables como tipo de estudio, año de publicación, tipo de intervención preventiva, riesgos ocupacionales evaluados, principales hallazgos e indicadores de seguridad reportados por cada investigación.

Posteriormente, se efectuó un análisis descriptivo de la evidencia, mediante la clasificación de los estudios según el tipo de riesgo (mecánico, ergonómico, térmico, químico y organizacional) y las estrategias preventivas implementadas. Asimismo, se realizó una comparación narrativa de los resultados reportados por los diferentes autores con el propósito de identificar patrones, similitudes y diferencias en la efectividad de las intervenciones.

Los porcentajes y valores cuantitativos presentados en los resultados corresponden a una síntesis de los datos reportados en los estudios incluidos, por lo que no representan cálculos estadísticos obtenidos a partir de una base de datos primaria propia. En consecuencia, el estudio no realizó pruebas inferenciales ni coeficientes de correlación, sino una integración descriptiva de la evidencia científica disponible.

Finalmente, los resultados fueron representados mediante tablas y figuras elaboradas en Microsoft Excel para facilitar la comparación entre las diferentes estrategias de prevención identificadas durante la revisión.

Consideraciones éticas

El actual estudio se establece exclusivamente en la revisión de fuentes secundarias de acceso público, donde no se involucra la participación de forma directa en los sujetos humanos ni la utilización de información sensible, en consecuencia, no requiere de la aprobación de un comité de ética, se respetaron los principios, citación pertinente y utilización responsable de datos científicos.

RESULTADOS

Descripción global de los datos

Se consolidaron registros cuantitativos que provienen de estudios que reportaron mediciones comparativas antes y posterior a la implementación de las estrategias de seguridad en aspectos industriales similares a la industria azucarera, aproximadamente el 70% de la información corresponde a los artículos indexados, mientras que el restante proviene de los análisis técnicos, la gran concentración de evidencia se vincula con intervenciones en maquinaria pesada y control de riesgos térmicos en los procesos industriales.

Tabla 2. Promedios ponderados de intervenciones en la industria azucarera

Intervención	Indicador clave	Promedio pre	Promedio post	Cambio (%)
Programa 5S y orden industrial	Incidentes operativos leves ($\times 10^6$ h-hombre)	8,1	6,5	-20%
Ergonomía aplicada a mantenimiento	Índice REBA	8,0	5,4	-33%
LOTO + mantenimiento predictivo	Accidentes por maquinaria pesada ($\times 10^6$ h-hombre)	6,8	4,9	-28%
Control térmico y ventilación	Casos de estrés térmico (eventos/año)	15	11,7	-22%

Gestión de químicos en refinación	Incidentes por exposición química (casos/año)	13	10,5	-19%
Sistemas ISO 45001	Días perdidos por accidente	7,0	4,6	-34%

Resultados por línea de intervención

- Gestión de seguridad en maquinaria pesada**

Los aprendizajes estudiados dieron a conocer que la aplicación de etiquetas de procesos fiables, acompañado con unos protocolos que incluyen bloqueos de energías (LOTO) y sostenimiento anticipativo, ayudando a la reducción de un 25% entre un 30% de los accidentes circunstanciales que gravemente suelen ocurrir con mobiliarias pesadas. Durante la activación del control de los equipos se atribuye una disminución que usualmente es inesperada a las fallas que se suelen ocasionar en el traslado y equipamiento de los transportadores durante el período de labor. Es importante fortalecer la estandarización de la supervisión técnica en las capacitaciones para que pueda existir un contexto de reducción en las distintas situaciones de riesgos que suelen evidenciarse durante el período de trabajo por ello es recomendable utilizar sensores de emergencia que van a contribuir a que exista una supervisión más rápida en las situaciones de riesgo mejorando el contexto laboral ecuatoriano dentro de las instituciones operarias.

- Ergonomía aplicada en operaciones industriales**

La media establecida pone en evidencia una disminución aproximada en el 33% de los índices ergonómicos (REBA) así como la reducción similar en la preventiva de trastornos musculoesquelética asociados a tareas repetitivas y manipulación de cargas en procesos de refinación y mantenimiento de máquinas. La figura determina la disminución de la puntuación promedio, reflejando las mejoras significativas en la postura laboral y la carga física, estos hallazgos son consistentes con análisis industriales que evidencian la adaptación de los lugares de trabajo, utilización de ayudas mecánicas y rotación de actividades son estrategia eficiente incluso en los medios de recursos limitados como los azucareros.

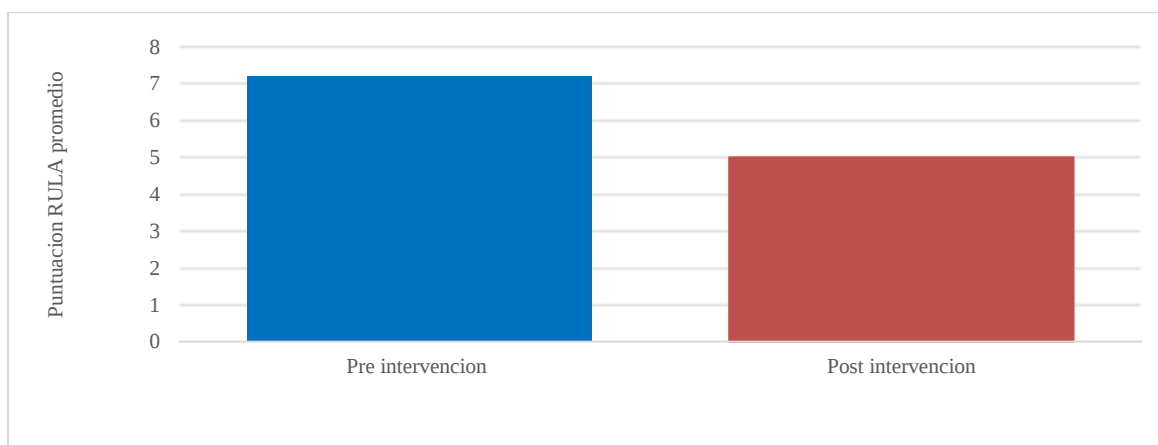


Figura 1. Impacto de la ergonomía aplicada en índice REBA

- **Control de energías peligrosas y mantenimiento predictivo**

La aplicación conjunta de sistemas de control de energías peligrosas (LOTO) y el mantenimiento preventivo de las maquinarias aumenta la confiabilidad de las operaciones, donde se refleja el aumento del MTBF de equipos críticos y pasando de 40-55 días en promedio, de forma paralela se registró una disminución del 28% en los accidentes mecánicos graves, este impacto se relaciona a la incorporación de sistemas de verificación de los sensores de monitoreo y alertas que den paso a la planificación de las intervenciones en momentos de menor carga operativa disminuyendo el riesgo de las fallas inesperadas.

- **Control de riesgos térmicos y químicos en refinación**

Las intervenciones dirigidas al control de temperatura y exposición a los agentes químicos donde evidenciaron una disminución del 20% al 22% de los incidentes vinculados con el estrés térmico y las quemaduras químicas, la instalación de sistemas de ventilación, aislamiento térmico y control ambiental donde se permite reducir la exposición a vapores y altas temperaturas que generan las calderas y los procesos de evaporación, además, la incorporación de sensores de gases donde contribuye a reducir las exposiciones críticas a sustancias como dióxido de azufre específicamente en instalaciones con sistemas antiguos y mantenimiento activo.

- **Sistemas de gestión de seguridad (ISO 45001)**

La implementación de sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo evidenció una disminución relevante en la severidad de los accidentes logrando valores cercanos al -34%, los análisis destacan la mejoría en la cultura organizacional, gran parte del cumplimiento de protocolos de seguridad y aumento promedio de 12-15 puntos en los indicadores de clima de seguridad, el contexto de la industria azucarera, estos sistemas integran la gestión de riesgos en todas las etapas del proceso productivo, desde la operación de maquinaria pesada hasta la refinación.

Con base en la evidencia analizada, se identificó que las diferentes intervenciones preventivas no actúan de forma aislada, sino que conforman un modelo integrado de gestión de la seguridad industrial. La interacción entre estrategias organizacionales, técnicas y operativas fortalece la prevención de riesgos laborales y favorece la mejora continua de las condiciones de trabajo en la industria azucarera. Esta integración se presenta en la Figura 3.

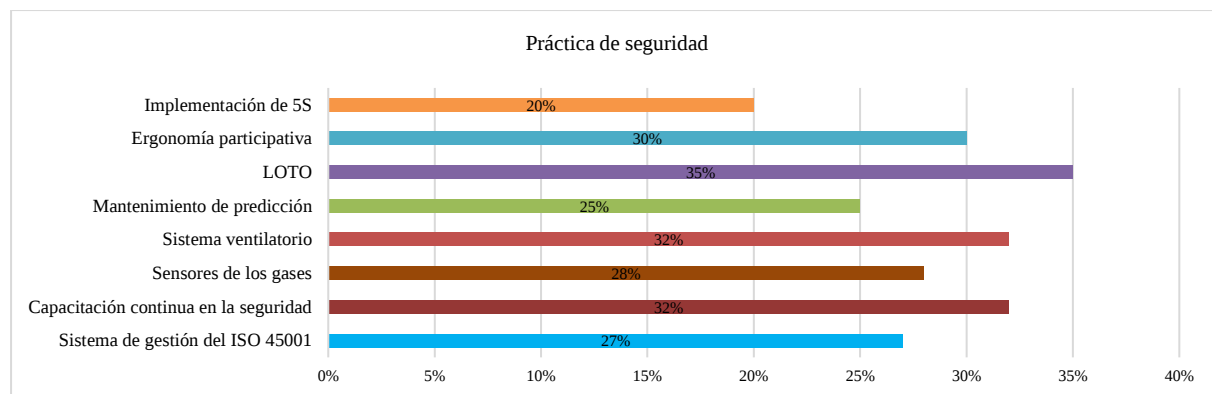


Figura 2. Modelo integrado de estrategias preventivas para la reducción de riesgos ocupacionales en la industria azucarera.

El gráfico de la Figura 2, condensa las relaciones de las intervenciones preventivas más estudiadas en la literatura científica; el diagrama también pone de manifiesto que la puesta en práctica de manera conjunta del sistema 5S, la ergonomía aplicada, los procesos de bloqueo y etiquetado (LOTO), el mantenimiento predictivo, el control de riesgos térmicos y químicos y los sistemas de gestión basados en la ISO 45001 ayudarían a fortalecer la cultura preventiva y a disminuir progresivamente el riesgo ocupacional de la industria azucarera.

Implicaciones prácticas y teóricas

- **Prácticas:** Los hallazgos evidencian que la aplicación de estrategias integradas como la ergonomía, sistemas de LOTO, mantenimiento de predicción, control químico y térmico y la ejecución de ISO 45001 contribuye a reducir los incidentes laborales y mejora la eficacia operativa en el ingenio azucarero. Estas acciones permiten mejorar la cultura preventiva, optimiza las condiciones de trabajo y facilita la adaptabilidad de progresión de tecnologías de la seguridad en las empresas ecuatorianas.
- **Teóricas:** El estudio indica el enfoque sociotécnicos de la seguridad industrial donde se interactúan los determinantes tecnológicos, organizacionales y humanos que influye de manera directa en la disminución de los riesgos laborales, así mismo se aporta la evidencia científica situada en la efectividad de los modelos integrados de la prevención, donde se contribuye al desarrollo de estudios a futuros vinculados con la automatización, sostenibilidad y cultura de seguridad ocupacional en los aspectos latinoamericanos.

Limitaciones y fuentes de sesgo

Tabla 3. Limitaciones y fuentes de sesgo

Fuente de limitación	Impacto potencial sobre los resultados	Estrategia de mitigación
----------------------	--	--------------------------

Variabilidad en tipos de maquinaria	Discrepancias entre equipos dificultan la estandarización de los hallazgos.	Se clasifica en las intervenciones basada en el equipo y el análisis del proceso de producción.
Búsqueda de corta permanencia	Limitada evaluación de la sostenibilidad en las intervenciones basada en la seguridad empresarial.	Recomendación basada en el análisis donde se incluyen las etapas completas en la productividad.
Superioridad de manufacturas tecnificadas	Alcanza sobreestimar la eficiencia de las acciones en los aspectos con menor nivel de tecnología.	Incluir los análisis de las plantas empresariales en el análisis ecuatoriano.
Subregistro de sucesos profesionales	Asunto de infravaloración de la frecuencia en contextos reales de los incidentes laborales en las pymes.	Consideración de los asuntos técnicos y el proceso de triangulación de los datos cualitativos.
Diversidad en itinerarios de compromiso	Complicaciones de comparación de manera directa en los análisis y la limitación de síntesis cuantitativa.	Uso de promedios de descripción y los análisis de comparación en la categoría de determinantes.

Conclusión parcial del análisis: La evidencia sugiere que la secuencia de las intervenciones como rden industrial-ergonomía aplicada-control de energías (LOTO) + mantenimiento predictivo – control térmico y químico – sistema de gestión ISO 45001 configura la trayectoria progresiva de la madurez en la seguridad industrial dentro de la empresa azucarera. Sin embargo, los hallazgos deben interpretarse con cautela dado a la variabilidad en los contextos tecnológicos y productivos, así como el predominio de los análisis en plantas de mayor escala, esta situación logra limitar la extrapolación de forma directa a las empresas, donde las condiciones operativas, accesibilidad tecnológica y capacitación, a pesar de esto, la consistencia de los resultados respalda la aplicabilidad gradual de estas estrategias en el área ecuatoriana.

DISCUSIÓN

Interpretación de los resultados

Los hallazgos corren de manifiesto que la reducción de los riesgos laborales en la industria azucarera es el resultado de la aplicación integrada de medidas técnicas, organizativas y preventivas, en lugar de la aplicación de una única medida. La evidencia revisada evidenció que medidas como la ergonomía participativa, el mantenimiento predictivo, los procedimientos de bloqueo y etiquetado (LOTO), el control de agentes térmicos y químicos, así como la implementación de sistemas de gestión de la seguridad laboral según la norma ISO 45001 operan de manera interdependiente, garantizando un fortalecimiento progresivo de la cultura de la seguridad y una disminución de la probabilidad de accidentes laborales.

Desde la lógica sociotécnica, estos resultados indican que la mejora de los resultados en seguridad industrial no depende exclusivamente de la incorporación de tecnologías sino de la organización

del trabajo, la formación permanente y el compromiso organizativo con la prevención de los riesgos laborales.

Comparativa con la literatura científica

Los hallazgos son congruentes con investigaciones realizadas en el sector agroindustrial y manufacturero, las cuales indican que la implementación de sistemas de gestión de la seguridad en el trabajo favorece a la disminución de la accidentalidad laboral a través de la estandarización de controles, la identificación sistemática de peligros y la mejora continua de los procesos de prevención de accidentes. Igualmente, los diferentes trabajos coinciden con el hecho de que la utilización de metodologías ergonómicas contribuye a la disminución de la carga física junto con el surgimiento de problemas musculoesqueléticos derivados del uso de maquinaria pesada.

No obstante, la evidencia también pone de manifiesto que el tamaño de los beneficios alcanzados depende de las características tecnológicas de cada empresa. En industrias con altos grados de automatización, al incluir sensores inteligentes, monitoreo constante y sistemas de parada de emergencia automáticos, la reducción del riesgo mecánico es normalmente más progresiva que en la mayoría de las industrias agroindustriales latinoamericanas, incluido el nuevo sector azucarero ecuatoriano, que operan con infraestructuras de distinta antigüedad y con pocos recursos para la modernización tecnológica, lo que puede limitar los efectos de algunas de las estrategias de control de riesgos que se aportan.

En este sentido, los resultados de esta revisión avalan la necesidad de ajustar las recomendaciones internacionales a las condiciones operativas ecuatorianas priorizando las intervenciones técnicamente posibles y económicamente rentables.

Consecuencias para el sector azucarero ecuatoriano

La principal aportación del estudio es propuesta de un modelo para la implementación gradual de medidas preventivas que podría ser aplicable a la industria azucarera nacional. En lugar de la “necesidad” de abordar inversiones de muy alto nivel tecnológico, la evidencia muestra que se pueden llevar a cabo mejoras significativas mediante si se abordan desde la gestión, los recursos humanos, el mantenimiento preventivo y la aplicación sistemática de protocolos de seguridad. Pero también se pone de manifiesto que la entrada en vigor de la norma ISO 45001 debe entendida como un sistema de gestión integral, y no sólo como un requisito de certificación; su operatividad también depende de la inclusión y participación de los trabajadores, del liderazgo de la dirección y de la evaluación continua del riesgo a todas las etapas del proceso productivo. Por último, los resultados muestran la necesidad de aumentar la producción científica sobre la seguridad en el trabajo en la industria azucarera ecuatoriana, sobre todo mediante investigaciones longitudinales que verifiquen la sostenibilidad en el tiempo de las intervenciones preventivas y su impacto sobre la reducción de la siniestralidad laboral.

Limitaciones identificadas:

- Diversidad de metodologías e indicadores que complican las comparaciones directas.

- Déficit de análisis con seguimiento prolongado en el área azucarera.
- Mayor representación de plantas con alto nivel tecnológico.

Recomendaciones para futuros estudios

1. Efectuar un análisis basado en 2 años sobre las empresas azucareras.
2. Establecer los indicadores de seguridad basado en las horas laborales, exposición química y los índices ergonómicos.
3. Análisis del impacto de los determinantes psicosociales y organizacionales situado en la seguridad laboral.
4. Diseño de estrategia situado en bajo costo donde facilita la ejecución de tecnología y seguridad en las pequeñas empresas.

En vínculo con la discusión se integra los resultados con el contexto teórico y establecer una guía efectuada para mejorar la seguridad en los ingenios azucareros donde se destaca el requerimiento de la adaptabilidad de las intervenciones en los aspectos en específicos en el Ecuador y la promoción del estudio investigativo a futuro.

CONCLUSIONES

El análisis realizado en el presente estudio ha permitido, en consecuencia, la revisión de la evidencia científica existente sobre los factores de riesgos asociados a la maquinaria de gran tamaño y a los procesos de refinación desarrollados en la industria del azúcar, dado que los factores de riesgo ocupacional relevante que emergieron de la revisión son aquellos que están relacionados con factores mecánicos, ergonómicos, térmicos y químicos, los cuales incrementan la probabilidad del surgimiento de accidentes laborales y enfermedades laborales. La revisión también dio cuenta de que estas categorías de riesgo ocupacional requieren un abordaje que contemple los factores técnico-organizacionales, como las condiciones del trabajo a las que están expuestos los justos factores humanos que intervienen en la gestión de la seguridad industrial.

La revisión bibliográfica de las evaluaciones de las distintas estrategias de prevención ha mostrado que las estrategias más adecuadas son las que se desarrollan de forma integrada, incluyendo mantenimiento predictivo, procedimientos de bloqueo y etiquetado (LOTO), ergonomía de aplicación, control de los agentes químicos y térmicos, sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo referenciados en la norma ISO 45001. La complementariedad de estas acciones mejora la cultura de prevención y contribuirá a mejorar el desempeño de seguridad ocupacional en el interior de mostrados procesos.

Los resultados obtenidos sustentan la aplicabilidad de un modelo sociotécnico de seguridad industrial para la industria de la azúcar ecuatoriana; en donde la seguridad industrial depende de la interacción entre la técnica, la organización del trabajo y la participación del personal. Este modelo brinda en sí un soporte teórico y práctico para definir implementaciones progresivas de estrategias de prevención adaptadas a las condiciones productivas del país y se convierte en un referente para futuras investigaciones que busquen fortalecer la seguridad y la salud ocupacional en este sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alfonso Llanes A, González Magán DR, Borroto Pentón Y. Aplicación del mantenimiento basado en el riesgo a equipos de la empresa agroindustrial azucarera “José María Pérez Capote”. Cent Azúcar. junio de 2022;49(2):112-21.
2. Samaniego PEY, Pérez DFM. Gestión de riesgos del trabajo aplicados a las actividades de producción de cal en la asociación Cantera Shobol Central. Polo Conoc. 23 de abril de 2025;10(4):1120-38. doi:10.23857/pc.v10i4.9367
3. Bano S, Singh K, Chaudhary A, Chandra R. Innovative methods for the valorisation of solid wastes from sugar mill and refineries for sustainable development: A review. Clean Waste Syst. 1 de marzo de 2025;10:100230. doi:10.1016/j.clwas.2025.100230
4. Redrobán C, Tenicota-García A, Calderón-Freire EF. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo. FIGEMPA Investig Desarro. 31 de enero de 2022;13(1):1-12. doi:10.29166/revfig.v13i1.2913
5. Macias MGL, Cevallos MGM, Catagua MAA. Perspectivas sobre seguridad, salud ocupacional de los trabajadores y el mejoramiento del medio ambiente laboral en el período 2019-2023. Rev InveCom ISSN En Línea 2739-0063. 2024;4(2):1-17. doi:10.5281/zenodo.10558648
6. Espinosa García A, Ossa Hoyos DF. Factores de riesgo en accidentes de trabajo de operarios de la fábrica en un ingenio azucarero del Valle del Cauca en el año 2024 [Internet]. 12 de diciembre de 2024 [citado 29 de abril de 2026]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10656/22452>
7. Alcívar-Meza ME, Palacios-Cedeño NM. Riesgo laboral y su impacto en los niveles de producción de la empresa Geopaxi S.A. Rev científica Multidiscip Arbitr YACHASUN - ISSN 2697-3456. 21 de noviembre de 2022;6(11 Ed. esp):206-21.
8. Mekassa B, Etana E, Merga LB. Proximate analysis, levels of trace heavy metals and associated human health risk assessments of Ethiopian white sugars. J Agric Food Res. 1 de junio de 2024;16:101086. doi:10.1016/j.jafr.2024.101086
9. Ultreras-Rodríguez A, Paz-Rosales MT de JDL, Santana-Alaniz JD, Ramírez-Ortega AG, Ultreras-Rodríguez A, Paz-Rosales MT de JDL, et al. Inteligencia artificial y su impacto en la automatización del trabajo en México. Rev Arbitr Interdiscip Koinonía. junio de 2025;10(19):4-25. doi:10.35381/r.k.v10i19.4364

10. Ortega JS. Seguridad para el trabajo y salud ocupacional: una revisión sistemática a partir de las normativas, protocolos y sostenibilidad ecuatoriana. Polo Conoc. 4 de enero de 2024;9(1):360-408. doi:10.23857/pc.v9i1.6382
11. Pulido-Rojano AD, Ruiz-Lázaro A, Ortiz-Ospino LE, Pulido-Rojano AD, Ruiz-Lázaro A, Ortiz-Ospino LE. Mejora de procesos de producción a través de la gestión de riesgos y herramientas estadísticas. Ingeniare Rev Chil Ing. marzo de 2020;28(1):56-67. doi:10.4067/S0718-33052020000100056
12. Silva-Bonilla HH, Tapa-Guamán FM, Laverde-Albarracín CS. ACCIDENTES LABORALES EN UN TALADRO WORKOVER, IMPACTO EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD. Rev Científica Multidiscip Arbitr YACHASUN - ISSN 2697-3456. 10 de mayo de 2025;9(16):1360-82.
13. Harde CK, Ojha DK. Are ethanol-gasoline blends sustainable in India? A life cycle perspective on benefits and trade-offs. Sustain Chem Clim Action. 1 de diciembre de 2025;7:100128. doi:10.1016/j.scca.2025.100128
14. Criollo-Limache E, Arias-Durand D, Dávila-Laguna R, Zambrano-Falcon J, Criollo-Limache E, Arias-Durand D, et al. Gestión de seguridad industrial según norma ANSI Z-49.1 para disminuir incidentes en una empresa metalmecánica. FIGEMPA Investig Desarro. diciembre de 2024;18(2). doi:10.29166/revfig.v18i2.5936
15. Rodríguez FAD, Buenaño ENB. Análisis de los factores de riesgos ergonómicos de una industria procesadora de alimentos en Guayaquil, Guayas. Arandu UTIC. 31 de octubre de 2024;11(2):1586-607. doi:10.69639/arandu.v11i2.359
16. Evaluación de riesgos mecánicos en las actividades de torneado y fresado de piezas metálicas | MQRInvestigar [Internet]. [citado 29 de abril de 2026]. Disponible en: <https://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/view/1780>
17. Vázquez CHB, Martínez JJG. Seguridad y salud ocupacional en el sector industrial: un estudio de caso en México. RECAI Rev Estud En Contad Adm E Infomática. 2023;12(33):36-46.
18. Loor Macias MG, Mendoza Cevallos MG, Alcívar Catagua MA, Loor Macias MG, Mendoza Cevallos MG, Alcívar Catagua MA. Perspectivas sobre seguridad, salud ocupacional de los trabajadores y el mejoramiento del medio ambiente laboral en el período 2019-2023. Rev InveCom. junio de 2024;4(2). doi:10.5281/zenodo.10558648
19. Solórzano IKC, Vélez LBM, Vera SNM. Análisis de riesgos y buenas prácticas en Seguridad y Salud Ocupacional en las PyMES de Portoviejo, Manabí, Ecuador. Rev Científica Arbitr Multidiscip PENTACIENCIAS. 10 de octubre de 2025;7(5):47-55. doi:10.59169/pentaciencias.v7i5.1638
20. Petrochemical Equipment - an overview | ScienceDirect Topics [Internet]. [citado 29 de abril de 2026]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/petrochemical-equipment>

21. García-Loor GM, Zambrano JES, Abambari-Vera JA. Seguridad en el Mantenimiento Preventivo de Máquinas de Mecanizado Convencional: Prácticas y Protocolos para un Entorno Laboral Seguro. *Rev Científica FINIBUS - Ing Ind Arquít.* 5 de octubre de 2023;6(12):1-18. doi:10.56124/finibus.v6i12.001
22. Kim B, An EJ, Kim S, Sri Preethaa KR, Lee DE, Lukacs RR. SRGAN-enhanced unsafe operation detection and classification of heavy construction machinery using cascade learning. *Artif Intell Rev.* 13 de julio de 2024;57(8):206. doi:10.1007/s10462-024-10839-7
23. Sánchez CER, Ramos ÁVV, Loor FMM. Seguridad industrial y la resistencia al cambio en las organizaciones. *Ibero-Am J Eng Technol Stud.* 30 de septiembre de 2024;4(2):9-15. doi:10.56183/iberotecs.v4i2.646
24. Descripción: Seguridad y salud en el trabajo para operarios de maquinaria pesada en la industria de la construcción [Internet]. [citado 29 de abril de 2026]. Disponible en: https://nuevo.metarevistas.org/Record/metarevistapublica_uniboyaca_revistainvestigacionensaluduniversidaddeboyaca_0_article_747/Description
25. Riesgos ergonómicos asociados a la operación de maquinaria pesada: volquetes del Gobierno Municipal, Sucúa- Ecuador. ResearchGate. doi:10.56048/MQR20225.8.3.2024.20-36
26. Awak CIP, Cortez BGQ, Álvarez AIQ. Análisis De Los Riesgos Críticos Asociados Al Uso De Maquinaria Pesada En Espacios Confinados En Operaciones De Minería Subterránea. *Metróp Rev Estud Univ Glob.* 20 de diciembre de 2025;6(2):147-96.
27. Paredes-Sanchez LN, Sainea-Rodríguez YM, Gonzalez-Villamil YP, Marquez-Benitez Y. Seguridad y salud en el trabajo para operarios de maquinaria pesada en la industria de la construcción. *Rev Investig En Salud Univ Boyacá.* 24 de junio de 2022;9(1. Enero-Junio):149-65. doi:10.24267/23897325.747
28. Cruz OIMDL, Salavarria JBV. Mantenimiento de equipo caminero como factor de riesgo laboral. *Polo Conoc.* 24 de diciembre de 2024;9(12):1906-27. doi:10.23857/pc.v9i12.8593
29. Novages. Riesgos laborales del manejo de maquinaria pesada. Novages [Internet]. 24 de enero de 2025 [citado 29 de abril de 2026]. Disponible en: <https://www.novages.es/riesgos-laborales-del-manejo-de-maquinaria-pesada/>
30. Ngoma RGT, Tsoni CGAM, Meng X, Danwana SB. The Impact of the Mining Equipment, Technological Trends, and Natural Resource Demand on Climate Change in Congo. *Sustainability.* 15 de enero de 2023;15(2). doi:10.3390/su15021691
31. Martínez Calderón JP, Vargas Tierras NA. Análisis de riesgo mecánico y ergonómico en el área de mantenimiento y mecánica preventivo y correctivo de maquinaria pesada en el GAD Cantonal Loreto [masterThesis] [Internet]. Quito: Universidad de las Américas, 2023; 2023 [citado 29 de abril de 2026]. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/15655>

32. Calderon IAM. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo. FIGEMPA Investig Desarro. 17 de diciembre de 2025;20(2):e8007-e8007. doi:10.29166/revfig.v20i2.8007
33. Navarro Sosa Y, Rivas Trasancos L, Chao Reyes C, Cañete Pérez CC, Díaz Rodríguez Y, Navarro Sosa Y, et al. DESARROLLO Y APLICACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA REDUCIR PRODUCTOS QUÍMICOS OCIOSOS Y CADUCADOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA. Cent Azúcar. marzo de 2022;49(1):31-40.
34. Akhtar MS, Ali S, Zaman W. Recent Advancements in Catalysts for Petroleum Refining. Catalysts. 20 de noviembre de 2024;14(12). doi:10.3390/catal14120841
35. García-Quito PE, Delgado-Guamán NK. Efectos de la exposición a sustancias químicas en los trabajadores de la industria licorera [Effects of chemical exposure on workers in the liquor industry]. Rev Multidiscip Perspect Investig. 4 de marzo de 2024;4(especial):46-56. doi:10.62574/rmpi.v4iespecial.108
36. Pimenta CCDC, Prieto DZ, Garcia AB, Calderón JAG, Sánchez SB. Industria 4.0: Impacto de la Digitalización y la Automatización en la Transformación Social e Industrial. Rev Inclusiones. 31 de marzo de 2025;12(1):216-43. doi:10.58210/fprc3592
37. Felix Orikpete O, Raphael Ejike Ewim D. Interplay of human factors and safety culture in nuclear safety for enhanced organisational and individual Performance: A comprehensive review. Nucl Eng Des. 1 de enero de 2024;416:112797. doi:10.1016/j.nucengdes.2023.112797
38. Quevedo BAC, Padilla EMM, Torres RIT. Factores Socioculturales y Seguridad Laboral en Entornos de Alto Riesgo: Un Análisis Teórico de sus Implicaciones en la Adopción de Conductas Seguras. Imperium Académico Multidiscip J. 25 de diciembre de 2025;2(4):1-13. doi:10.63969/1z6syw34
39. Lellis CM de, Lucchetti C, Beines F, Julia C, Interlandi C, Brunelli M. Cultura de la seguridad de los pacientes, factor humano y gestión de los riesgos en servicios de salud: Culture of patient safety, human factor and risk management in health services. Vestig Rev Dir Investig [Internet]. 2023 [citado 29 de abril de 2026];(1). Disponible en: <https://p3.usal.edu.ar/index.php/vestigium/article/view/6913>
40. Al-Mekhlafi ABA, Kanwal N, Alhajj MN, Isha ASN, Baarimah AO. Trends in Safety Culture Research: A Scopus Analysis. Safety. 6 de abril de 2025;11(2). doi:10.3390/safety11020033
41. Pazmiño GJL, Tamayo YM, Ronquillo DFT. Innovaciones tecnológicas en métodos de manufactura industrial, tendencias y perspectivas futuras. Bastcorp Int J. 14 de enero de 2025;4(1):104-20. doi:10.62943/bij.v4n1.2025.167
42. Barrera JRA, Torres YES, Alarcón LAV. La Tecnología y su Impacto en la Gestión de Procesos y Estrategias de Automatización. Cienc Lat Rev Científica Multidiscip. 3 de septiembre de 2024;8(4):6198-221. doi:10.37811/cl_rcm.v8i4.12822

43. Rodríguez P, Echeverri C, Valencia A. Tendencias en tecnologías convergentes en la industria 4.0: una revisión de literatura [Internet]. 2023 [citado 29 de abril de 2026]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3420/342080085006/html/>
44. Pástor KES, Agualongo EAP, Meza DCV, Parra LAO. Integración de tecnologías emergentes en el diseño industrial para una gestión más eficiente del transporte y la logística. Polo Conoc. 21 de septiembre de 2023;8(9):1204-18. doi:10.23857/pc.v8i9.6077
45. Reinoso MVA, Alarcon LFJ, Carpio WTM, Gonzales JPJ. La innovación tecnológica en la transformación hacia modelos de negocios socio productivos y sostenibles. J Sci Res. 29 de noviembre de 2023;8(CIID-EQ-2023):46-64.
46. Damián Moran GJ, Ayuque JM, Quinto JEI, Cerna COL, Romero DC, Damián Moran GJ, et al. Industria 4.0 y su relación con la automatización en la industria Alimentaria: Una revisión sistemática y bibliométrica. Manglar. abril de 2025;22(2):229-43. doi:10.57188/manglar.2025.025
47. Cho I, Ju Y. Trend Analysis of Factory Automation Using Topic Modeling. Processes. 19 de junio de 2025;13(7). doi:10.3390/pr13071952
48. Moran-Fuentes JJ, Carlos-Ornelas CE, Soto-Morones H, Moran-Fuentes JJ, Carlos-Ornelas CE, Soto-Morones H. Prácticas de gestión de seguridad y salud en el trabajo: Una revisión sistemática de la literatura. Cienc Adm Teoría Prax. junio de 2022;18(1):89-104. doi:10.46443/catyp.v18i1.304
49. Gómez García AR. Seguridad y salud en el trabajo en Ecuador. Arch Prev Riesgos Laborales. septiembre de 2021;24(3):232-9. doi:10.12961/aprl.2021.24.03.01
50. Álvarez D, Araque E, Jiménez K. Sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo, Mipymes de Sincelejo, Colombia [Internet]. 2022 [citado 29 de abril de 2026]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-86932022000200178