



Universidad Europea de Canarias

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales

Evaluación del ruido en higiene industrial: Estudio comparativo entre métodos tradicionales e inteligencia artificial

Alumno: Yenniffer Andrea Forero Ortiz

Tutor: Dr. Orlando Gutiérrez Rodríguez

(Madrid), 2024



Universidad europea de Canarias

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Evaluación del ruido en higiene industrial: Estudio comparativo entre métodos tradicionales e inteligencia artificial

Alumno: Yenniffer Andrea Forero Ortiz
TUTOR: Dr. Orlando Gutiérrez Rodríguez

(Madrid), 2024

ÍNDICE

1	RESUMEN / ABSTRACT	9
2	INTRODUCCIÓN	11
2.1	Método tradicional de la evaluación del ruido.	11
2.1.1	Método basado en la inteligencia artificial (IA)	12
2.1.1.1	Diferencias Clave entre modelos	12
3	OBJETIVOS	15
3.1	Objetivos específicos	15
4	ANTECEDENTES.....	17
5	METODOLOGÍA.....	21
5.1	Población y muestra.....	21
5.1.1	Criterios de inclusión.....	21
5.1.1.1	Criterios de exclusión.....	22
5.1.1.2	Variables y medidas.....	22
5.1.1.3	Procedimiento de búsqueda de datos.....	22
5.1.1.4	Proceso de selección y análisis	23
5.1.1.5	Instrumento	23
5.1.1.6	Consideraciones éticas	24
5.1.1.7	Plan de trabajo y cronograma	24
5.1.1.8	A Limitaciones del estudio	25
6	RESULTADOS	27
6.1	Comparación método tradicional vs método IA - Variable Costos	33
6.2	Comparación método tradicional vs método IA - Variable tiempo	39
6.2.1	Comparación método tradicional vs método IA - Variable Resultados	40
7	CONCLUSIONES	42
7.1	Conclusión sobre Métodos Tradicionales	42
7.1.1	Conclusión sobre Métodos Basados en IA	42
8	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	45
9	BIBLIOGRAFÍA	47
10	ANEXOS.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Instrumento de recopilación de datos</i>	23
<i>Figura 2. planificación de estudios diagrama de Gantt</i>	24
<i>Figura 3. Descripción de tareas y subtareas fase metodológica</i>	25
<i>Figura 4. Estudios con uso de encuestas</i>	27
<i>Figura 5. Ponderación de equipos y calibración</i>	28
<i>Figura 6. Ponderación calibración de equipos</i>	28
<i>Figura 7. Consolidado general estudios método tradicional</i>	28
<i>Figura 8. Modelos empleados IA según literatura</i>	29
<i>Figura 9. Ponderación según complejidad</i>	30
<i>Figura 10. Gráfica complejidad según estudio</i>	30
<i>Figura 11. Cantidad de muestras por investigación</i>	30
<i>Figura 12. Cantidad de muestras por calificación Datasets</i>	31
<i>Figura 13. Exigencias del mantenimiento</i>	31
<i>Figura 14. Escalas de mantenimiento</i>	32
<i>Figura 15. Ponderación general</i>	32
<i>Figura 16. Consolidado general estudios método IA</i>	32
<i>Figura 17. Sonómetro clase I</i>	33
<i>Figura 18. Micrófono</i>	33
<i>Figura 19. Imagen de flujo de Aprendizaje Automático AA</i>	34
<i>Figura 20. Costos de equipos de medición del método tradicional</i>	34
<i>Figura 21. Costos de equipos de medición del método IA a través de servicios en la nube</i>	35
<i>Figura 22. Costos de equipos de medición del método IA a través de implementación local</i>	36
<i>Figura 23. Figura comparativa ventajas y desventajas variable costos</i>	36
<i>Figura 24. Mediciones de tiempo método tradicional</i>	37

<i>Figura 25. Figura tiempo recolección de datos IA.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 26. Figura métodos de análisis de datos IA.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 27. Ventajas y desventajas método tradicional versus AI variable tiempo.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 28. Figura confiabilidad en la evaluación de ruido variable resultados.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 29. Figura indicadores de eficacia y eficiencia variable resultados.....</i>	<i>41</i>

1 RESUMEN / ABSTRACT

Resumen

El ruido industrial sigue siendo un factor muy frecuente en los entornos ocupacionales que impacta negativamente en la salud, por ello la evaluación de este riesgo es fundamental para garantizar el bienestar de los trabajadores. Este estudio se centra en un análisis comparativo entre el método tradicional y el enfoque que emplea la inteligencia artificial (IA), para la evaluación del ruido en higiene industrial, con el propósito de determinar su eficacia y eficiencia en términos de costos, tiempo y resultados. La metodología de este estudio centro en la búsqueda de investigaciones, selección y obtención de datos, de un total de 50 artículos de investigación de bases de datos como Scopus, PubMed, Google Académic y Scielo, Siendo finalmente elegidos 9. Se analizaron aspectos de confiabilidad, eficiencia y eficacia, los resultados obtenidos revelaron que, si bien ambos métodos demostraron ser efectivos en la evaluación del ruido, los dos métodos tienen ventajas y desventajas que favorecen los procesos de evaluación del ruido industrial, la elección de un método u otro dependerá de las factores como, los objetivos de evaluación el contexto, la dimensión de lo que se quiera evaluar, los aspectos geográficos, el presupuesto y los alcances a los que se quieran llegar.

Abstract

Industrial noise remains a frequent factor in occupational environments, negatively impacting health. Therefore, risk assessment of this factor is crucial to ensure worker well-being. This study focuses on a comparative analysis between traditional methods and an approach utilizing artificial intelligence (AI) for industrial noise assessment, aiming to determine their effectiveness and efficiency in terms of costs, time, and results. The methodology of this study centered on research identification, data selection, and retrieval from a total of 50 research articles from databases such as Scopus, PubMed, Google Scholar, and Scielo, with 9 articles ultimately selected. Aspects of reliability, efficiency, and effectiveness were analyzed, revealing that while both methods proved effective in noise assessment, they each have advantages and disadvantages favoring industrial noise evaluation processes. The choice between methods depends on factors such as evaluation objectives, context and scope, geographical considerations, budget, and desired outcomes.

2 INTRODUCCIÓN

La evaluación del ruido en entornos laborales es un aspecto fundamental de la higiene industrial, debido a que el ruido excesivo puede tener graves consecuencias para la salud auditiva y el bienestar de los trabajadores. En este contexto, el desarrollo de métodos de evaluación eficaces y eficientes es crucial para garantizar un ambiente de trabajo seguro y saludable.

En los últimos años, el avance de la tecnología ha abierto nuevas posibilidades en el campo de la higiene industrial, particularmente en lo que respecta al uso de inteligencia artificial (IA) en la evaluación del ruido. La IA ofrece la promesa de métodos más rápidos, precisos y rentables para medir y evaluar los niveles de ruido en el lugar de trabajo, sin embargo, el método tradicional ha demostrado tener resultados precisos y eficaces.

El presente trabajo se enfoca en el desarrollo de un estudio comparativo entre el método tradicional y el uso de inteligencia artificial para la evaluación del ruido en higiene industrial. El objetivo principal es determinar la eficacia y eficiencia de cada método en términos de costos, tiempo y resultados.

Este método busca responder a las preguntas como: ¿Cuál es el costo asociado en cada método de evaluación? ¿Cuánto tiempo se requiere para llevar a cabo en la evaluación y análisis del ruido utilizando cada método? ¿Cuál es la confiabilidad relativa de los métodos tradicional y de inteligencia artificial en la evaluación del ruido? Al abordar estas preguntas, se espera que este estudio arroje luz sobre las ventajas y limitaciones de cada enfoque, proporcionando información valiosa para los profesionales de la higiene industrial y contribuyendo al avance del conocimiento en el campo de la seguridad laboral.

La estructura del presente trabajo se organiza de la siguiente manera: en primer lugar, se realizara una descripción detallada de los métodos tradicional y de inteligencia artificial, después se detallará revisión de la literatura relevante sobre el tema de la evaluación del ruido en higiene industrial descrita en antecedentes, seguido a esto se proporcionara la metodología del estudio y finalmente se presentarán los resultados del estudio comparativo, seguidos de una discusión sobre las implicaciones de estos hallazgos y las recomendaciones para investigaciones futuras.

2.1 Método tradicional de la evaluación del ruido.

En el uso del método tradicional de evaluación de ruido implica el uso de dispositivos como sonómetros y dosímetros para medir directamente los niveles de presión sonora en un ambiente específico. Estos dispositivos son calibrados según normas internacionales como la ISO 9612:2009, y locales como la UNE-En 61672-1 para garantizar la precisión de las mediciones.

Este método incluye una medición directa donde utilizando un sonómetro, que es un aparato que mide la intensidad del sonido en el aire y registra los niveles de ruido en decibelios (dB).

Otro instrumento son los dosímetros, que son llevados por los trabajadores durante su jornada laboral, registran la exposición acumulada al ruido, durante el proceso de medida en este método debe garantizarse el cumplimiento de las normativas de carácter nacional o internacional, tanto para la adquisición del equipo, cumpliendo con lo indicado por la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) y el American National Standards Institute (ANSI). Así como los estándares establecidos por las normas locales y de seguridad y salud en el trabajo¹.

Posteriormente a ello se procede a realizar el análisis para determinar si los niveles de ruido superan los límites establecidos por la ley o las directrices de salud ocupacional, lo que puede requerir acciones correctivas inmediatas, este proceso permite a las industrias responder rápidamente a las preocupaciones sobre la exposición al ruido, implementando medidas de control como la reducción de ruido en la fuente o la provisión de protección auditiva personal.

2.1.1 Método basado en la inteligencia artificial (IA)

Los métodos basados en IA para la evaluación del ruido utilizan algoritmos de *machine learning* y técnicas avanzadas de procesamiento de datos para analizar y predecir patrones de ruido. Este enfoque puede proporcionar análisis más complejos y predicciones sobre las condiciones de ruido.

Este método consiste en la recolección de datos, el cual es similar al método tradicional, pero a menudo involucra la integración de múltiples fuentes de datos, como sensores distribuidos a lo largo de un área más extensa o durante periodos más prolongados, posteriormente en este método el procesamiento avanzado de los diferentes modelos utiliza algoritmos de *machine learning* para analizar los datos recogidos, identificar patrones y tendencias, y predecir niveles futuros de ruido basándose en modelos estadísticos.

Este método emplea un análisis predictivo y complejo capaz de hacer la identificación de las fuentes específicas de ruido y la evaluación del impacto potencial del ruido en la salud a largo plazo, basado en los datos históricos y actuales, estos modelos de IA pueden adaptarse a nuevos datos y aprender de ellos, mejorando su precisión y utilidad a lo largo del tiempo, lo cual es especialmente útil en entornos dinámicos o en evolución.

2.1.1.1 Diferencias Clave entre modelos

Realizando una revisión general en la literatura científica existe, se observa que las diferencias entre estos modelos de dan por aspectos como, precisión directa versus capacidad analítica, ya que mientras que los métodos tradicionales proporcionan mediciones directas y precisas de

¹ (Universidad Europea, módulo equipos de medida 2023 p.9)

los niveles de ruido en un momento específico, los métodos de IA pueden analizar grandes volúmenes de datos para prever y modelar situaciones de ruido, ofreciendo una comprensión más profunda y estrategias proactivas.

Otra diferencia encontrada es la respuesta Inmediata versus la planificación a largo plazo, los métodos tradicionales son efectivos para responder a problemas inmediatos y cumplir con regulaciones específicas, mientras que la IA puede ayudar en la planificación a largo plazo y en la implementación de soluciones preventivas basadas en la predicción de patrones de ruido.

Por otra parte, otro punto diferenciador es el costo y escalabilidad, los métodos tradicionales pueden ser más costosos y menos escalables, especialmente en grandes áreas geográficas o múltiples ubicaciones, mientras que los métodos de IA, aunque posiblemente costosos al principio, ofrecen mayor escalabilidad y eficiencia a largo plazo.

Los aspectos relacionados anteriormente, serán desarrollados y comprobados puntualmente en a lo largo de este estudio, con el fin de que pueda aportar conocimiento actualizado de las nuevas tecnologías utilizados en la prevención de Riesgos Laborales (PRL).

3 OBJETIVOS

Desarrollar un estudio comparativo entre el método tradicional y el uso de inteligencia artificial para la evaluación del ruido en higiene industrial, con el propósito de determinar la eficacia y eficiencia en costos, tiempo y resultados

3.1 Objetivos específicos

1. Examinar la literatura técnica existente sobre el ruido en la industrialización de procesos.
2. Contextualizar en el tiempo los tratados existentes con su normativa, así como la evolución de estas a lo largo del tiempo.
3. Evaluar la efectividad del método tradicional de evaluación del ruido en higiene industrial en términos del costo tiempo y resultados para considerar la fiabilidad en la medición de los niveles de ruido.
4. Investigar los métodos y aplicaciones actuales usados en la inteligencia artificial en la evaluación de ruido en entornos laborales para analizar la eficacia y precisión de la evaluación.
5. Comparar y analizar la eficiencia de los métodos de evaluación del ruido en higiene industrial de los enfoques tradicionales y los que usan inteligencia artificial, en aspectos de costos tiempo y resultado, identificando ventajas y desventajas.

4 ANTECEDENTES

Dentro de la Prevención de Riesgos Labores (PRL), la evaluación del riesgo es una herramienta vital que permite la identificación de los peligros y todas aquellas condiciones que pueden traer consecuencias y daños en la salud en los trabajadores, una de estas condiciones es el ruido, considerado como un riesgo laboral y definido como “un agente físico contaminante; un sonido indeseable, e incómodo,”. (Ganime et al. 2010 p.6), el cual, representa una preocupación significativa por los impactos adversos en la salud auditiva.

En respuesta a esta preocupación, tanto a nivel nacional como internacional, se han establecido diversos tratados, normas y leyes destinadas a proteger la seguridad y salud de los trabajadores expuestos a ruido laboral. En España, está presente la Ley de Prevención de riesgos laborales (LPRL) 31/1995 dispone las garantías y responsabilidades que brindan un nivel adecuado de protección de la salud de todos los trabajadores y el Real Decreto 286/2006, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos derivados de la exposición al ruido en el trabajo, que tiene por objeto “establecer las disposiciones mínimas para la protección de los trabajadores contra los riesgos para su seguridad y su salud derivados o que puedan derivarse de la exposición al ruido, en particular los riesgos para la audición” (R.D 286/2006 p.4). Además, indica los niveles de exposición al ruido permitidos, indicando las medidas preventivas que deben aplicar los empresarios para proteger la salud auditiva de los trabajadores.

Así mismo, Según el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE), enmarca las exigencias básicas en cuanto a seguridad y protección contra el ruido, donde se tiene como objetivo el limitar dentro de los edificios el riesgo de molestias o enfermedades que el ruido pueda generar, y en cumplimiento a esta propone que los recintos tengan unas características acústicas apropiadas para reducir la transmisión de los diferentes tipos de ruidos existentes.

Siguiendo con la normatividad, la Norma UNE-ISO 9612 Acústica, determina la exposición laboral al ruido y sus métodos de medición, especificando los procedimientos y cálculos para medir la exposición al ruido en los entornos laborales, fundamental para llevar a cabo evaluaciones precisas de los niveles de ruido, siendo el objeto de estudio de este trabajo de grado.

Teniendo en cuenta las directrices fijadas por la Unión Europea, en la Directiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, que establece:

Las disposiciones mínimas como los valores límite de exposición, la toma de medidas de control para evitar la reducción a la exposición a este riesgo físico, estableciendo el mínimo de los requisitos para la protección de la seguridad y salud de los trabajadores que están expuestos al ruido en el ámbito laboral. Esta exige a los estados miembros

implementar esta directiva en su legislación nacional, permitiendo tener un mayor control en cuanto este riesgo (pp.1-7)

A su vez la Unión Europea ha sido pionera en el desarrollo de un marco regulatorio para la inteligencia artificial, buscando equilibrar la innovación tecnológica con los derechos fundamentales y la seguridad de las personas, realizando una propuesta de reglamento de la UE sobre la IA, esta tiene como fin establecer normas para el desarrollo, la comercialización y el uso de la IA en los estados miembros, este marco se basa en una clasificación de riesgo que pueden presentar para los derechos y la seguridad de las personas.

Estos riesgos son clasificados como inaceptable, alto, limitado y mínimo, Los requisitos y obligaciones para los proveedores y usuarios de sistemas de IA varían según el nivel de riesgo, estos serán supervisados mediante el establecimiento de un marco de gobernanza en todos los Estados miembros para garantizar el cumplimiento de las normas, incluyendo la creación de autoridades nacionales de supervisión. (EU Artificial Intelligen, 2024)

A pesar de que estas regulaciones han venido evolucionando a lo largo del tiempo, y esto permite favorecer la seguridad y la salud auditiva de los trabajadores, persisten desafíos en la evaluación efectiva del ruido en higiene industrial, incluida la necesidad de mejorar la eficacia y eficiencia de los métodos de evaluación existentes. En este contexto, surge la pregunta sobre la viabilidad y efectividad del uso de la inteligencia artificial en la evaluación del ruido en el lugar de trabajo, en comparación con los métodos tradicionales establecidos.

Es por ello por lo que se hace necesario ir a la raíz del problema, donde se hace indispensable realizar una revisión de la literatura existente sobre el ruido refiere:

El 37% de los trabajadores indica que en su puesto de trabajo tienen que soportar un ruido molesto, elevado o muy elevado. Centrando el análisis en los trabajadores que manifiestan que en su puesto existe un ruido elevado o muy elevado, los sectores más afectados son Industria (25%) y Construcción (22%). (ISST., 2007 p. 152)

En la industria, se encontró que es considerado como uno de los riesgos más predominantes en este sector. (Ganime et al. 2010), dada los múltiples procesos de procesos de producción que esta área emplea, requiriendo de una cierta diversidad de máquinas y equipos que producen tipos de ondas sonoras con variaciones de “intensidad, amplitud y duración” generando el ruido ocupacional (INSST, 2011).

En los estudios se concluye que la exposición prolongada a este riesgo físico puede ocasionar daños para la salud de los trabajadores, que van desde:

Enfermedades cardiovasculares, estrés severo e impacto en la salud en general y en la vida diaria, por ejemplo, a través de trastornos de rendimiento laboral, trastornos del sueño, y la interferencia en la conversación. Ha habido muchos informes sobre los

efectos físicos, emocionales, conductuales y sociales de los defectos de audición por ruido, además de la ya conocida pérdida auditiva, la más frecuente es la exposición a ruido exagerado en alta o moderada intensidad por tiempo prolongado, lo cual puede dañar de forma irreversible el oído interno. (Martínez, M. G., et al., 2012 p.176)

Entendido esto, es indispensable mitigar estos efectos que trae la exposición prolongada a ruido en ambientes laborales, para esto, en este estudio, se tiene presente los métodos de evaluación utilizados para medir el ruido ocupacional, que en adelante en esta investigación se le denominara métodos tradicionales, en los que se usan equipos como sonómetros para medir los niveles de presión sonora en diferentes áreas de trabajo, “la dosimetría de ruido, empleando dosímetros para medir la exposición personal al ruido durante un tiempo determinado” (Montalvo, 2019), el mapeo de ruido, para identificar a través de mapas las fuentes de ruido y niveles de exposición en las diferentes áreas de trabajo por ultimo “las entrevistas y cuestionarios a los trabajadores para evaluar subjetivamente las percepciones de los niveles de ruido” (Wissar, 2017).

Según la literatura revisada una vez capturada esta información, recurren a técnicas estándar para procesar las mediciones del ruido, en los métodos tradicionales se usa el promedio ponderado en el tiempo (TWA) para cada trabajador, posteriormente se comparan “se compararon los resultados con los estándares ocupacionales para determinar la prevalencia de exposiciones que exceden los límites permitidos”. (Rathipe, M., & Raphela, F. S. 2022). Otros estudios tradicionales como el uso de mapas de ruido fueron procesados como “software SIG para crear mapas que visualizan la distribución espacial del ruido y su intensidad” (Romero Duque et al. 2006). En algunos de estos estudios se emplean el análisis estadístico como realización de promedios, medianas y modos para comparar grupos y examinar correlaciones.

Por otro lado, existe un campo en desarrollo en la medición del ruido laboral en la cual se emplea el uso de la inteligencia artificial en adelante (IA), en esta, los métodos pueden valorar de acuerdo al uso y la tecnología disponible, algunas formas en las que actualmente se está utilizando la IA para evaluar este riesgo físico es el análisis del datos en tiempo real a través de redes neuronales, que emplea algoritmos para analizar los datos del ruido en todo momento a través del “uso de sensores distribuidos en las instalaciones industriales” (Montalvo, 2019). Otro método es la detección automatizada de fuentes de ruido, el cual es capaz de identificar “automáticamente las fuentes de ruido en un entorno industrial, mediante el procesamiento de datos de audio” (García, 2018).

Otro método usado actualmente en la predicción de niveles de ruido, en el cual se emplean modelos de IA entrenados con datos históricos para predecir los niveles de ruido en diferentes áreas de trabajo en función de factores como la actividad del equipo, “la hora del día y las condiciones ambientales” (Aliabadi et al 2014, pp. 780-786). También sobresale el análisis de Big Data para la evaluación de riesgos, en este hay una integración de del ruido con otros conjuntos de datos, como por ejemplo medición de datos de salud de los trabajadores y los datos

de producción, permitiendo correlacionar patrones que pueden ayudar a evaluar y a mitigar los riesgos asociados con la exposición al ruido laboral (Redsochi, 2022).

En el uso de la IA el procesamiento de la información está dada por “algoritmos de aprendizaje automático, para identificar patrones y realizar predicciones”, (Wen, P. J., & Huang, C. 2020). se menciona el procesamiento de los registros de ruido involucra la selección de descriptores acústicos de los espacios de trabajo como características de entrada, basadas en “estándares de la ISO” (Aliabadi, M. et al. 2020)

Teniendo en cuenta que estos métodos de medición con IA están en pleno desarrollo, conviene aportar mayor conocimiento y aplicación en esta área, evidenciándose una brecha en la literatura donde sobresalen diferentes estudios usando métodos de evaluación tradicionales del ruido laboral versus la escasa y limitada información con la que se cuenta en estudios donde se use la inteligencia artificial, razón por la cual es un campo poco explorado, pero con conclusiones favorables frente al uso de estas nuevas tecnologías.

Haciendo un análisis hasta el momento, es importante considerar que la evaluación y control del ruido en el entorno laboral, representan un aspecto crucial de la prevención de riesgos laborales (PRL) debido a los potenciales impactos adversos en la salud auditiva y el bienestar de los trabajadores. A pesar de la existencia de normativas y leyes tanto a nivel nacional como europeo destinadas a proteger a los trabajadores contra los riesgos derivados del ruido, aun se continua percibiendo la exigencia de trabajar más en este aspecto, en este contexto, la siguiente investigación, plantea realizar una comparación entre la evaluación del riesgo físico ruido con el método tradicional y el uso de inteligencia artificial con el propósito de determinar la eficacia y eficiencia en costos, tiempo y resultados.

Se pretende identificar en ambos métodos, si hay optimización de recursos, identificando los requerimientos de recursos financieros materiales y humanos, con el fin de consignar la alternativa más eficiente y rentable, con el fin de una gestión optima de este riesgo laboral.

Por otra parte, es necesario además detallar si hay una mejora en la precisión y fiabilidad de estos métodos de evaluación, entendiendo que, si bien los métodos tradicionales han demostrado ser eficaces a lo largo del tiempo, la introducción de la IA en la evaluación del ruido puede ofrecer la oportunidad de mejorar la precisión y fiabilidad en las mediciones contribuyendo los optimizar los resultados, favoreciendo a la planificación de medidas preventivas más eficaces.

De acuerdo con estos avances, es aconsejable generar literatura que permita promover una mayor disposición para la adaptación a entornos cambiantes, puesto que la naturaleza dinámica de los entornos laborales modernos requiere soluciones adaptables y flexibles para la gestión de riesgos y el uso de inteligencia artificial en la evaluación del ruido podría ofrecer una mayor capacidad de adaptación a cambios positivos en el entorno laboral, así como la capacidad de

anticipar y prevenir riesgos emergentes de manera más efectiva, contribuyendo al bienestar de la salud de los trabajadores.

Por lo anterior, este estudio tiene como finalidad aportar al avance científico y tecnológico, pues la investigación comparativa entre métodos tradicionales y enfoques basados en inteligencia artificial no solo proporcionará una comprensión más profunda de las capacidades y limitaciones de cada enfoque, sino que también contribuirá al avance científico y tecnológico en el campo de la prevención de riesgos laborales.

5 METODOLOGÍA

Este trabajo sigue la metodología de la revisión bibliográfica con el fin de realizar una investigación documental, para recopilar la información detallada de los métodos de evaluación del ruido en higiene industrial empleando métodos tradicionales y los que emplean inteligencia artificial, para el análisis e interpretación de los datos se utilizó una tabla de doble entrada para comparación de las variables del estudio.

La comparación se realizara a través de la identificación de elementos semejantes y las diferencias que emplea cada uno de los enfoques en la evaluación del riesgo físico, para analizar y determinar la eficacia y eficiencia en términos de precisión y fiabilidad de las mediciones, considerando los costos asociados que se emplean en cada método, confrontando los tiempos requeridos para cada medición, evaluación e implementación de tecnologías, y por su puesto en los resultados obtenidos en cada técnica, identificando la precisión, ventajas y desventajas de cada método.

5.1 Población y muestra

La población que se tiene en cuenta para este estudio investigativo fueron los trabajadores preferiblemente expuestos a riesgo físico de ruido donde se superen umbrales de 85dB, en contextos industriales o áreas ruidosas.

La muestra seleccionada fueron 9 artículos de investigación, dada las escasas investigaciones en esta área, donde usaban los métodos tradicionales y el uso de la IA, que cumplieron con los criterios de inclusión detallados en el siguiente apartado.

5.1.1 Criterios de inclusión

Para este estudio se consideraron artículos que se abordaran métodos de evaluación del ruido, donde el tema principal fuera ruido ocupacional, que emplearan métodos tradicionales y métodos con inteligencia artificial. Dentro de los criterios manejados para los métodos tradicionales se tuvo en cuenta investigaciones donde existieran trabajadores expuestos al ruido en ambientes laborales, estudios preferiblemente que fueran realizados en áreas industriales, o espacios donde se tenga presencia de una importante exposición al ruido.

Sumado a esto se tuvo en cuenta investigaciones donde estuviera presente el ruido generado por maquinarias y equipos industriales y/o ruido ambiental generado por fuentes externas o internas, igualmente se incluyó artículos donde se empleará mediciones de ruido indirectas y directas incluidos dosímetros, sonómetros, sensores y otros dispositivos de medición del ruido. Así mismo, se tuvo presente artículos donde los niveles de ruido fueran superiores a los umbrales como 85dB (A) considerados dañinos para la audición.

Por otra parte, para los criterios que se incluyeron en métodos que usan inteligencia artificial además de incluir las mismas condiciones expuestas para los métodos tradicionales, se agregaron los estudios que tuvieran un enfoque en como predicción o análisis del ruido en los que aplica IA o modelos de aprendizaje automático para predecir los niveles de ruido, al igual que el uso de tecnologías de IA específicas como redes neuronales, *machine learning* o formas de aprendizaje automático o dispositivos de procesamiento de datos para analizar el ruido.

También se tuvo presente la validación y evaluación de los modelos no solo teniendo en cuenta el desarrollo de la IA, sino que también tuvieran aprobación mediante comparaciones reales del ruido, teniendo la capacidad de poder correlacionar y predecir resultados de la salud generados por la exposición al ruido.

5.1.1.1 Criterios de exclusión

Se descartaron estudios donde se hablaba de otra tipología de ruido que no fuese laboral, se incluían trabajadores no expuestos a niveles significativos de ruido, estudios donde los niveles de ruido estuvieran por debajo de los 85dB, no se tuvieron en consideración áreas que no pertenecieran al entorno industrial como personal que trabajara en despachos administrativos o zonas residenciales.

5.1.1.2 Variables y medidas

Las variables que se tienen contempladas para este estudio son el tiempo, costos y resultados, de todos los procesos de evaluación del ruido ocupacional, estos se medirán a través de la búsqueda en la revisión bibliográfica de la muestra de este estudio, donde se extraerá valores promedios en las variables descritas.

5.1.1.3 Procedimiento de búsqueda de datos

Los primeros artículos fueron buscados a finales del el mes de enero de 2024, en metabuscadores como Scopus, PubMed, empleado palabras claves como "*inteligencia artificial*", "*ruido ocupacional*", "*machine learning*", "*noise*", "*hearing los*" donde no se encontró información relacionado con este tema de investigación, posteriormente se amplió la búsqueda en metabuscadores académicos como *Scielo* y *Google Académico*, empleando la consulta con *Google dorsk*, que es una técnica que consiste en aplicar la búsqueda avanzada de *Google* para conseguir encontrar en Internet información concreta a base de ir filtrando los resultados. (OSI, 2023,) empleando palabras como "*intitle:"noise assessment" intext: "industrial hygiene"*,

intext:"noise assessment in industrial hygiene" intext:"artificial intelligence", intext:"industrial hygiene" intext:"noise assessment".

5.1.1.4 Proceso de selección y análisis

De esta búsqueda se descargaron una totalidad de 60 artículos, de los cuales en la lectura y revisión inicial se excluyeron 18, quedando 32 estudios que posiblemente podrían servir como material de investigación, durante las revisiones y análisis de contenido se descartaron 20 artículos, que no cumplían con los criterios de inclusión quedando 9 investigaciones.

Para el análisis y la estructura de la información recopilada establecieron los criterios de comparación, posteriormente se realiza la recopilación de la información donde se reúnen los datos más relevantes de cada método de evaluación del ruido, posteriormente se procede a analizar los datos por cada una de las categorías establecidas y a realizar la interpretación de los resultados, para facilitar este proceso se tuvo en cuenta una tabla de doble entrada con las variables seleccionadas para este estudio las cuales se explicarán en el siguiente apartado.

5.1.1.5 Instrumento

La herramienta usada para este estudio es la tabla o cuadro de doble entrada, la cual permite organizar los datos de forma clara y eficiente, para este se usa una tabla de Excel, la cual contine filas, columnas y en ellas encabezados que se emplean para su identificación, este instrumento se usa en estudios comparativas para cotejar diferentes categorías de información.

La recopilación de datos se capturo teniendo en cuenta los métodos a investigar por un lado el método tradicional y por otro que usa IA, las categorías usadas fueron método de evaluación y descripción de la herramienta, adicionalmente, se registró las variables, el tiempo, el costo y los resultados obtenidos en cada estudio.

La estructura y organización anteriormente nombrada facilita el análisis y la comparación de los datos en este estudio, permitiendo una mejor fiabilidad y precisión

TIPO DE ENFOQUE O MODELO	MÉTODO TRADICIONAL						MÉTODO INTELIGENCIA ARTIFICIAL					
NOMBRE ESTUDIO	ESTUDIO 1	ESTUDIO 2	ESTUDIO 3	ESTUDIO 4	ESTUDIO 5	ESTUDIO 6	ESTUDIO 1	ESTUDIO 2	ESTUDIO 3	ESTUDIO 4	ESTUDIO 5	ESTUDIO 6
CAT. VARIABLE												
COSTOS EMPLEADOS												
TIEMPO												
RESULTADOS												

Figura 1. Instrumento de recopilación de datos

5.1.1.6 Consideraciones éticas

En este estudio se asegura el cumplimiento de los principios éticos en cada una de las revisiones documentales realizadas, nombrando y reconociendo los derechos de cada uno de los autores y la atribución que corresponde a la información.

Por consideraciones éticas y por falta de autorización en este estudio no se nombrarán muestras empleadas en cada uno de los estudios, así como la confidencialidad de nombre y de empresas y establecimientos en los cuales fueron realizadas las investigaciones consultadas.

5.1.1.7 Plan de trabajo y cronograma

En este estudio se asegura el cumplimiento de los principios éticos en cada una de las revisiones documentales realizadas, nombrando y reconociendo los derechos de cada uno de los autores y la atribución que corresponde a la información.

Por consideraciones éticas y por falta de autorización en este estudio no se nombrarán muestras empleadas en cada uno de los estudios, así como la confidencialidad de nombre y de empresas y establecimientos en los cuales fueron realizadas las investigaciones consultadas.

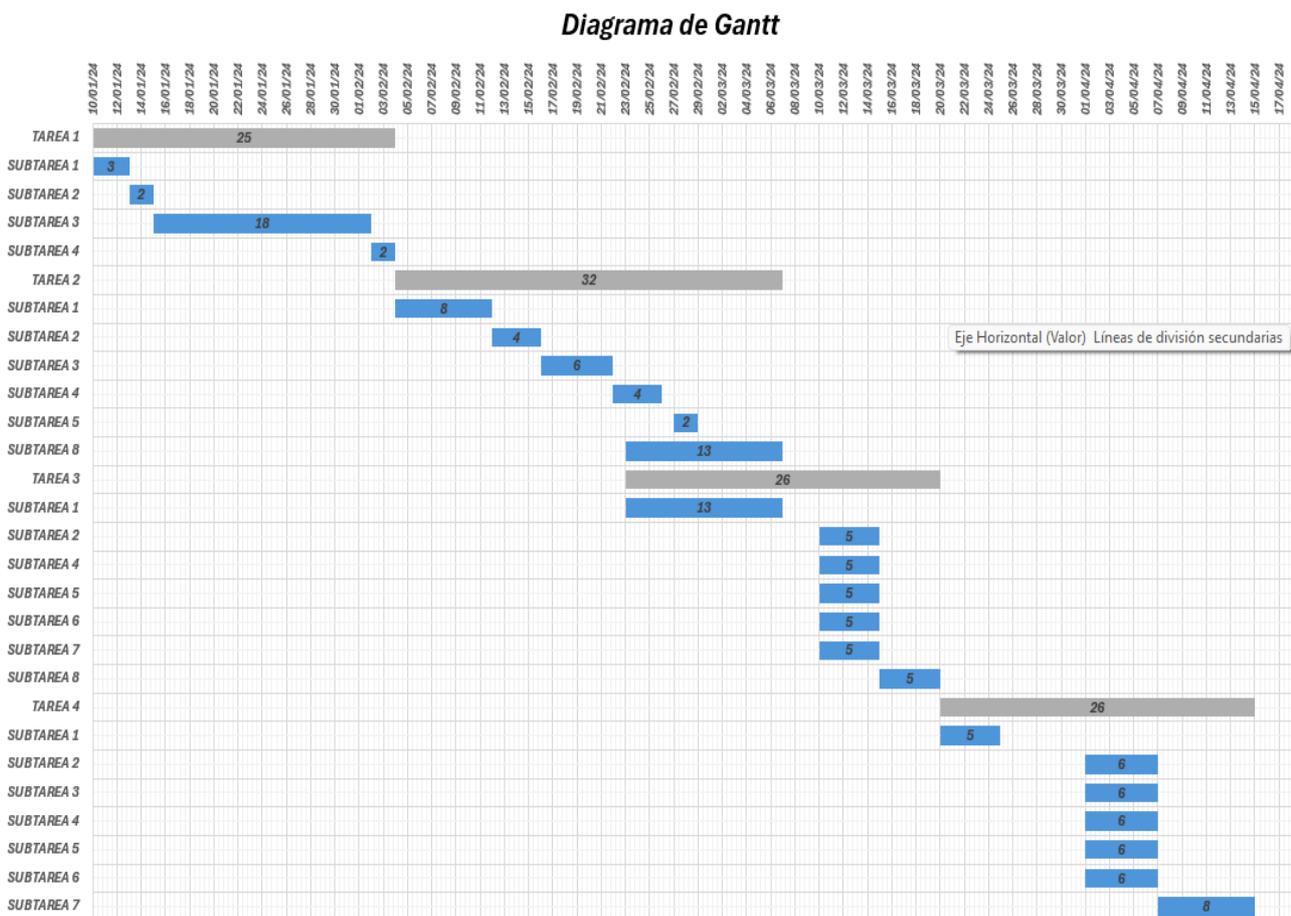


Figura 2. planificación de estudios diagrama de Gantt

Con esta herramienta de gestión de actividades se logró planificar todas las actividades y subactividades propias de este estudio, las cuales se describen a continuación.

N° ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	INICIO	DIAS	FECHA FIN
TAREA 1	DEFINICION DE LA TEMATICA	10/01/2024	25	4/02/2024
SUBTAREA 1	Búsqueda y selección de la especialidad de PRL de la temática a desarrollar	10/01/2024	3	13/01/2024
SUBTAREA 2	Identificación del campo de investigación de interés	13/01/2024	2	15/01/2024
SUBTAREA 3	Investigación de estudios existentes	15/01/2024	18	2/02/2024
SUBTAREA 4	Diligenciamiento y envío de formulario definiendo la tarea	2/02/2024	2	4/02/2024
TAREA 2	PLANIFICACION DEL PROYECTO	4/02/2024	32	7/03/2024
SUBTAREA 1	Identificar el tipo de estudio a realizar	4/02/2024	8	12/02/2024
SUBTAREA 2	Recopilación de los artículos sobre la temática seleccionada	12/02/2024	4	16/02/2024
SUBTAREA 3	Selección de los artículos definitivos	16/02/2024	6	22/02/2024
SUBTAREA 4	Identificación de las variables a utilizar	22/02/2024	4	26/02/2024
SUBTAREA 5	Establecimiento de objetivos generales y específicos	27/02/2024	2	29/02/2024
SUBTAREA 8	Validación del estudio de investigación con el docente	23/02/2024	13	7/03/2024
TAREA 3	REVISION DE LA LITERATURA Y RECOPIACIÓN DE DATOS	23/02/2024	26	20/03/2024
SUBTAREA 1	Leer y revisar estudios existentes sobre métodos tradicionales y de IA del ruido en Higiene industrial	23/02/2024	13	7/03/2024
SUBTAREA 2	Detallar las tareas específicas en la evaluación del ruido tradicional y las que se emplean IA	10/03/2024	5	15/03/2024
SUBTAREA 4	Identificar el tipo de herramientas y tecnologías específicas usadas en ambos métodos	10/03/2024	5	15/03/2024
SUBTAREA 5	Identificar los recursos en términos de costos empleados en los métodos tradicionales y los IA	10/03/2024	5	15/03/2024
SUBTAREA 6	Identificar el tiempo empleados en los métodos tradicionales y los IA	10/03/2024	5	15/03/2024
SUBTAREA 7	Identificar los resultados obtenidos con el método tradicional y la IA	10/03/2024	5	15/03/2024
SUBTAREA 8	Documenta como se recopilan, procesan y analizan los datos en la evaluación del ruido de ambos métodos	15/03/2024	5	20/03/2024
TAREA 4	ANALISIS Y COMPACION DE RESULTADOS	20/03/2024	26	15/04/2024
SUBTAREA 1	Analizar los datos recolectados por ambos métodos	20/03/2024	5	25/03/2024
SUBTAREA 2	Documentar los resultados que se obtuvieron en cada estudio	1/04/2024	6	7/04/2024
SUBTAREA 3	Evaluar y comparar resultados de los dos enfoques	1/04/2024	6	7/04/2024
SUBTAREA 4	Identificar procesos y diferencias significativas	1/04/2024	6	7/04/2024
SUBTAREA 5	Valorar confiabilidad según los estudios de ambos enfoques	1/04/2024	6	7/04/2024
SUBTAREA 6	Evaluar la eficacia y eficiencia de las variables propuestas	1/04/2024	6	7/04/2024
SUBTAREA 7	Documentar hallazgos y conclusiones	7/04/2024	8	15/04/2024
FECHA INICIO	10/01/2024			
FECHA FIN	15/04/2024			

Figura 3. Descripción de tareas y subtareas fase metodológica

5.1.1.8 A Limitaciones del estudio

Una de las limitaciones principales de este estudio fueron los escasos estudios investigativos que hay en esta área de la prevención de riesgos laborales, lo que puede afectar la validez en los resultados de este estudio, razón por la cual, se promueve a la generación del incremento de estudios que permita mitigar esta limitación.

Hasta este momento se detalla de forma estructurada y sistemática la metodología del presente estudio comparativo de tipo documental, sobre la evaluación del ruido en higiene industrial.

6 RESULTADOS

Una vez recopilada la información, se procede a realizar un análisis de datos, para la explicación sistemática de esta se iniciará con la variable costos empleados en cada estudio seleccionado.

Teniendo en cuenta esto, para este análisis, se tuvieron en cuenta los aspectos como los recursos que cada método debe disponer para realizar la evaluación del riesgo, una vez aclarado este, se inicia con el método tradicional, en este se identificó que se debe contar con el presupuesto para la adquisición o alquiler de equipos de medición de ruido, los cuales deben tener una clasificación específica para ser considerado como apto para la evaluación del ruido ocupacional, además de estos dispositivos se debe contar con una calibración de los mismos, también se debe contemplar el personal cualificado para realizar y analizar las mediciones.

Se muestra a continuación los equipos empleados en cada investigación a estos se le asigna un puntaje a mayor valor mejor es calidad y precisión posee el equipo.

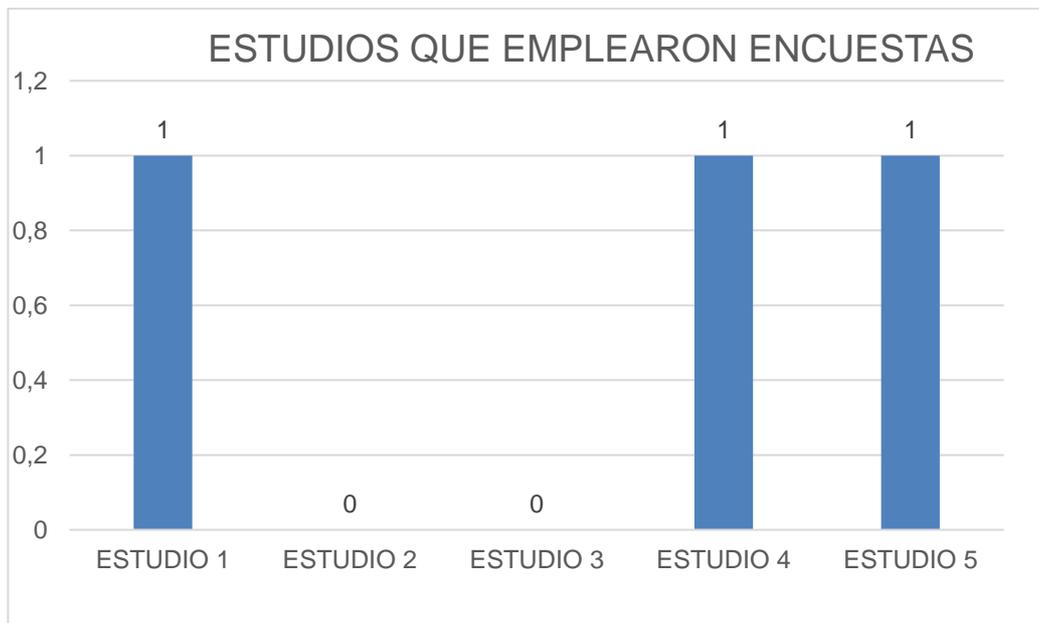


Figura 4. Estudios con uso de encuestas

Después de contextualizar los factores a contemplar en la variable costo con el método tradicional, se muestra el detalle de las categorías presentes y para tener en cuenta en el establecimiento del presupuesto para el uso de las mediciones de ruido, aquí se debe tener presente que a los equipos y calibración se les da un puntaje que va de 5 siendo el mejor y a 1 siendo menos favorable para la medir este riesgo. (Certicalia, 2018) contemplando que en todos los estudios se requirió de una persona para ejecutar las mediciones y encuestas que en ocasiones son empleadas para ampliación de la información.

EQUIPO			
EQUIPO	CLASE	CALIFICACIÓN	PUNTAJE
SONOMETRO-DOSIMETRO	0	MUY ALTA	5
SONOMETRO	1	ALTA -BUENO	4
SONOMETRO	2	MODERADA	3
SONOMETRO	3	BAJA	1

Figura 5. Ponderación de equipos y calibración

CALIBRACIÓN		
NORMA	PUNTAJE	CRITERIO
Noma ECE 60651	5	Normatividad reconocida
Calibrated SV104IS noise- dosímetro	3	Auto calibración
Pistofón marca CIRRUS modelo CR: 511E	4	homologación norma la norma CEI 60942:2003
calibrated according to local regulation	2	Sin especificación de norma
The calibrator based in California	2	Sin especificación de norma

Figura 6. Ponderación calibración de equipos

Posteriormente se genera el consolidado con las categorías que se tuvieron presente en la variable costos con el objetivo de confrontar tradicionales y evidenciar de forma gráfica los componentes usados.

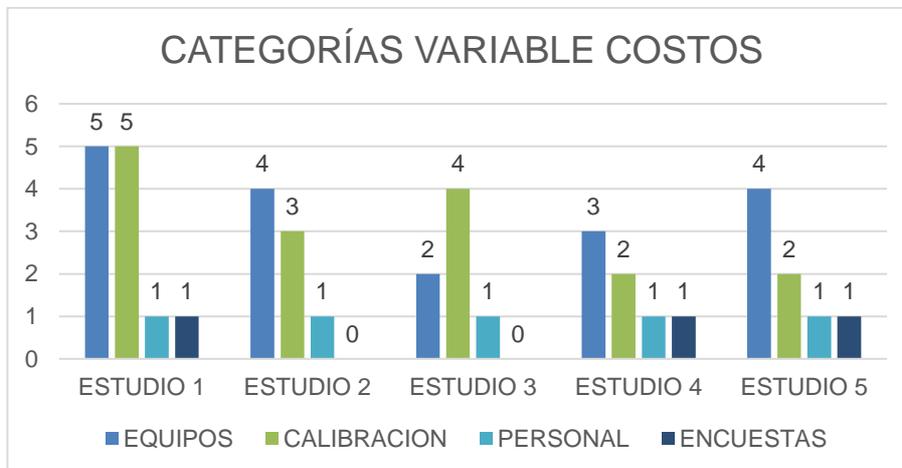


Figura 7. Consolidado general estudios método tradicional

Por otro lado, al examinar los aspectos que se deben tener presente en la variable de costos del método que usa IA, es fundamental tener en cuenta el tipo de modelo a utilizar, los equipos donde se recoge la información como micrófonos y sensores, el *Datasets*, que corresponde a al conjunto organizado de datos que se emplea para hacer análisis y alimentar modelos de aprendizaje, el procesamiento de los datos (modelo/hardware), la escalabilidad del método, entendido como el mantenimiento en el tiempo que debe tener el modelo y los datos, recursos a nivel hardware como espacio en disco duro, CPU, memoria RAM/GPU, y lo más importante una persona cualificada para la implementación.

Para empezar a describir lo encontrado en la literatura, se debe entender los modelos de IA empleados en los estudios, la complejidad de este, su justificación y los requisitos para el empleo, estos se describen a continuación. (IBM, 2021), (AWS Amazon), (Casado, 2022-07),

ESTUDIO	Modelo/Método	Complejidad	Justificación de Complejidad	Requisitos para Empleo
ESTUDIO 3	Red neuronal convolucional (CNN)	Muy Alta	Arquitecturas complejas, procesamiento intensivo de datos, y gran cantidad de hiperparámetros para afinar.	Datos etiquetados (especialmente imágenes), poder de computación (preferiblemente con GPUs), conocimiento en DL.
ESTUDIO 4	Redes neuronales artificiales (ANN)	Alta	Menor complejidad que CNN, pero aún requieren ajuste de muchos hiperparámetros y conocimiento profundo de la estructura de la red.	<i>Datasets</i> suficientemente grandes, poder de computación, conocimiento en redes neuronales.
ESTUDIO 4	Sistemas de inferencia neuro-difusa adaptativos (ANFIS)	Alta	Combinan principios de redes neuronales y lógica difusa, lo que aumenta la complejidad en interpretación y ajuste.	Conocimiento en lógica difusa y redes neuronales, <i>Datasets</i> para entrenamiento.
ESTUDIO 4	Inferencia difusa generativa (GENFIS)	Alta	Requiere comprensión de lógica difusa y generación de reglas a partir de los datos.	Conocimiento en lógica difusa, <i>Datasets</i> para generar modelos.
ESTUDIO 2	Gradient Boosting Model (GBM)	Alta	Implica un entendimiento de algoritmos de ensamblaje y ajuste secuencial de modelos débiles.	Conocimiento en métodos de ensamblaje, capacidad de manejar hiperparámetros, cantidad moderada de datos.
ESTUDIO 3	Máquinas de soporte vectorial (SVM)	Moderada a Alta	Selección de kernel y ajuste de hiperparámetros puede ser complejo, pero es menos intensivo en datos que los métodos de redes neuronales.	Conocimiento en algoritmos de clasificación y regresión, <i>Datasets</i> etiquetados.
ESTUDIO 3	Bosques aleatorios	Moderada a Alta	Requiere comprensión de árboles de decisión y su ensamblaje, pero con menos hiperparámetros que las ANN y SVM.	Conocimiento en árboles de decisión, cantidad moderada de datos.
ESTUDIO 1	Scikit-learn (clasificación supervisada)	moderada	Biblioteca de Python que ofrece una gran cantidad de modelos con implementaciones eficientes y documentación extensa, accesible para principiantes.	Conocimiento básico de Python y <i>machine learning</i> , datos para entrenamiento y prueba.
ESTUDIO 2	Análisis estadístico de Leq	moderada a baja	Puede no ser tan complejo en comparación con modelos de ML, suele aplicarse más en análisis ambientales y de ingeniería.	Conocimiento básico en estadística y análisis de datos, acceso a datos ambientales o de ingeniería relevantes.

Figura 8. Modelos empleados IA según literatura

Cada modelo está calificado según el modelo está clasificado está clasificado por un nivel de complejidad, (ver tabla).

Muy Alta	5
Alta	4
Moderada	3
Moderada a Alta	2
Baja a Moderada	1

Figura 9. Ponderación según complejidad

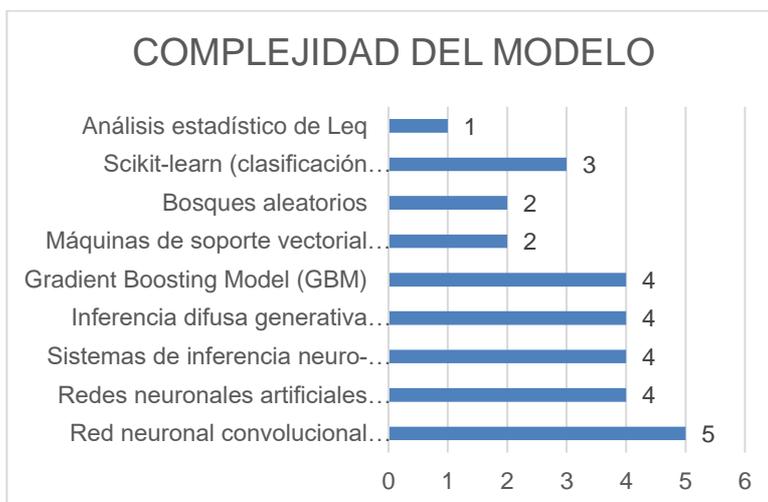


Figura 10. Gráfica complejidad según estudio

Continuando con los aspectos para tener en cuenta en el costo de la evaluación del ruido con el uso de la IA, es la cantidad de datos empleados como parte del modelo utilizado, en los que se contempla que, entre mayor cantidad de muestras del ruido, es más elevado el nivel de calificación y mayor nivel de precisión de la predicción, esto se explica a continuación:

	CANTIDAD DE MUESTRAS UTILIZADAS	CALIFICACIÓN
Estudio No 1	14,000 ejemplos de resultados de medición promedio de 10 segundos en bandas de 1/3 de octava	Muy Alta
Estudio No 2	Más de 13 millones de muestras de ruido desde febrero hasta agosto de 2019	Alta
Estudio No 3	60 salas de trabajo de bordado incluyendo el tipo de maquinaria, número de bordados, número de cabezales de bordado, vida útil de las máquinas de bordado y velocidad de operación.	Alta
Estudio No 4	Conjunto de datos de acceso libre y se entrenó con sonidos ambientales, estudio bajo costo	Baja

Figura 11. Cantidad de muestras por investigación

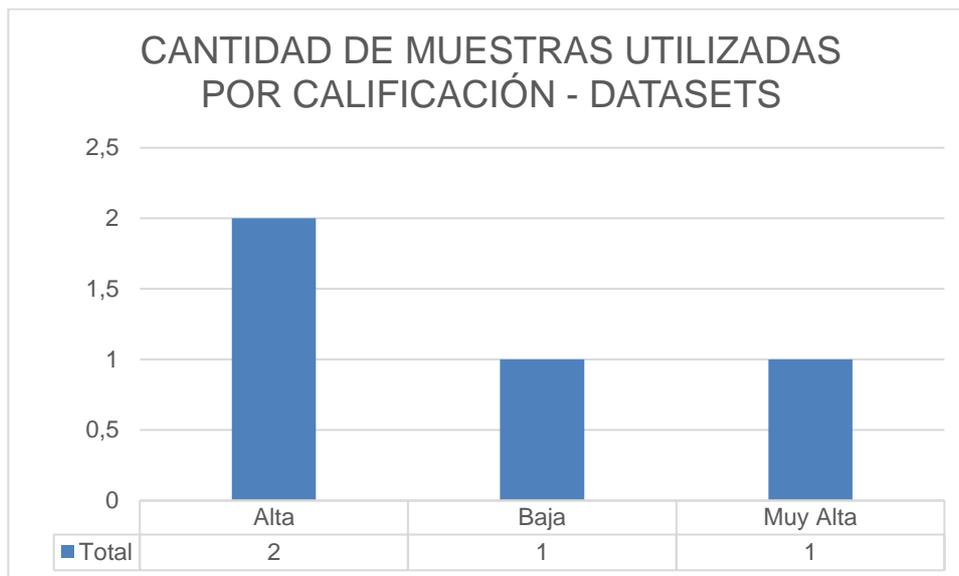


Figura 12. Cantidad de muestras por calificación Datasets.

Seguido esto, otro punto para tener en cuenta es la formación, el conocimiento y el manejo que debe tener la profesional que implanta el modelo, ya que además debe formar para el uso del método, este actor es indispensable.

Otro aspecto es el mantenimiento que debe tener tanto el modelo donde se ve involucrado el *Datasets* y los recursos necesarios a nivel de Hardware (memoria RAM/GPU, CPU y almacenamiento de los datos), estos se clasifican de acuerdo con la exigencia de las mediciones para la revisión bibliográfica se tuvo en cuenta lo siguiente:

ESTUDIO	IMPLEMENTACION	ESCALABILIDAD	CALIFICACION
Estudio No 1	Se necesita afinamiento constante. Limpieza de los datos	Alta arquitectura de compunto, base de datos para mantener la información y necesaria para mantener el modelo.	Media
Estudio No 2	Se necesita afinamiento constante. Limpieza de los datos y alta cantidad de datos para mantener el modelo	Alta arquitectura de compunto, base de datos para mantener la información y necesaria para mantener el modelo.	Alta
Estudio No 3	bajo coste para la implementación del sistema de medición	ninguna solo para efectos del estudio	Baja
Estudio No 4	Se necesita afinamiento constante. Limpieza de los datos y alta cantidad de datos para mantener el modelo	Alta arquitectura de compunto, base de datos para mantener la información y necesaria para mantener el modelo.	Alta

Figura 13. Exigencias del mantenimiento

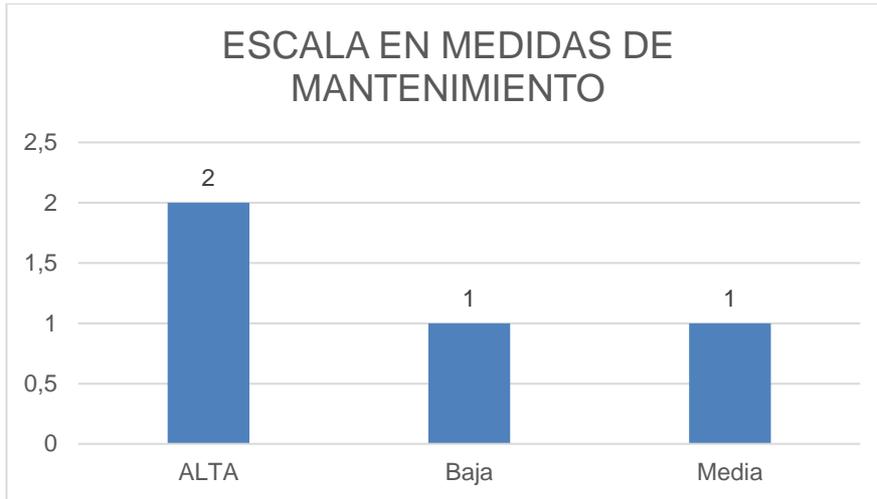


Figura 14. Escalas de mantenimiento

Para finalizar, a continuación, se muestra en detalle según la revisión de los artículos el consolidado de los aspectos que se tuvieron en cuenta en la variable costo, donde se tiene en cuenta una ponderación de acuerdo con modelo de IA seleccionado en cada estudio, la calificación del *Datasets* según la cantidad de datos empleados en cada investigación, la formación que se debe tener y el mantenimiento

Muy Alta	5
Alta	4
Moderada	3
Moderada a Alta	2
Baja a Moderada	1

Figura 15. Ponderación general

Finalmente se genera el consolidado con las categorías que se tuvieron presente en la variable costos en el método que usa la IA con el objetivo de confrontar y demostrar de forma gráfica los aspectos utilizados.

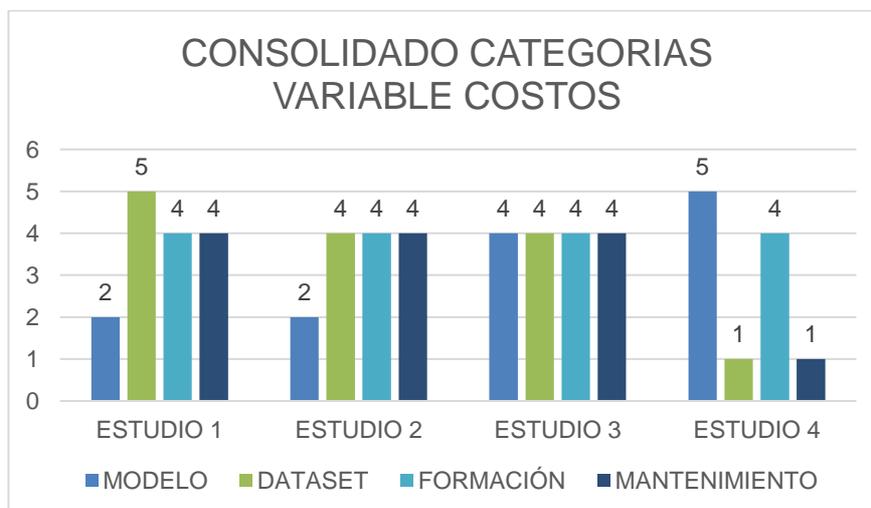


Figura 16. Consolidado general estudios método IA

6.1 Comparación método tradicional vs método IA - Variable Costos

En primer lugar, la variable costo no se orientó únicamente en comparar aspectos económicos, esto debido a que ningún estudio describió la inversión en la realización de la evaluación del ruido, es por ello por lo que se tuvieron en cuenta categorías que comprenden los costos asociados para cada método.

Una de las categorías confrontadas es el equipo en el método tradicional versus el modelo usado en IA, un aspecto diferenciador, en el primero es la utilización de equipos como el sonómetro y dosímetros para medir el ruido y en la IA el empleo de micrófonos y sensores. Otro aspecto que difiere está relacionado con el análisis de datos, mientras que en el método tradicional es usado el Excel para realizar operaciones estadísticas, con los datos recogidos para determinar el promedio de exposición al ruido, los máximos niveles de exposición y la distribución de la exposición al ruido, con la IA se emplea el modelo y *Datasets* que son mucho más complejos que requieren una serie de herramientas como mayor infraestructura en software y hardware para realizar estos análisis.



Figura 17. Sonómetro clase I

PCE instrumentos (2021) (https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/sonometro-kat_70046.htm)



Figura 18. Micrófono

Vellella Ramos, Á. (2022) p 49.

Otro factor comparado, está relacionado con la categoría de calibración en el método tradicional y el mantenimiento en la IA, este guarda una similitud, debido a que en ambos métodos requiere de un agente externo acreditado que asegure el funcionamiento de estos métodos, la característica diferenciadora en este aspecto es el nivel de complejidad, ya que requiere un mayor esfuerzo el empleado en la IA puesto que el manejo del mantenimiento se realiza en un proceso inicial en la limpieza de los datos, y posteriormente en el análisis y el afinamiento de los datos, llamado proceso de evaluación del modelo, como se visualiza en la imagen a continuación.

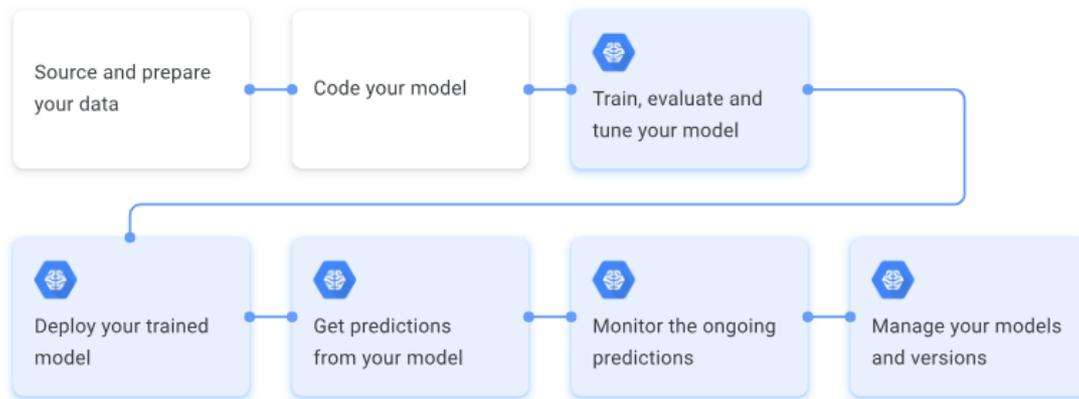


Figura 19. Imagen de flujo de Aprendizaje Automático AA

El último factor para considerar, es el costo adicional que supone la contratación del recurso humano cualificado para la implementación del método que emplea el uso IA, puesto que debe contar con el dominio en el manejo de los modelos, realizar las mejoras operativas basadas en cada uno de los aprendizajes automáticos que se manejen y solucionar los problemas que se puedan presentar en la operativa, esto comparado con el método tradicional, genera una mayor inversión, y más considerando que en el enfoque tradicional es el técnico superior en prevención de riesgos laborales quien realiza estas evaluaciones del riesgo ruido.

Finalmente, podría considerarse como ventaja la eficiencia percibida al nombrar toda esta tecnología y el detalle de su complejidad, pero esto se concretará en el estudio comparativo de la variable resultados.

Como se ha mencionado durante la variable costos, ninguno de los artículos especifica los recursos monetarios para las investigaciones realizadas, sin embargo, se indagó sobre los costes aproximados de ambos métodos.

Dentro de los costes establecidos por el método tradicional se incluye la adquisición de equipos como sonómetros y dosímetros, los precios de estos pueden variar de acuerdo con la clase, pero los valores aproximados están dentro de los siguientes rangos de precios. Mundo medición (https://mundomedicion.com/?product_cat=sonometros)

Referencia sonómetros	Precios
sonómetro PCE-323	\$240,56
sonómetro PCE-428	\$1.129,99
sonómetro PCE-SLM 10	\$258,75
dosímetro PCE -NDL 10	\$672,61

Figura 20. Costos de equipos de medición del método tradicional

Los costes de la inteligencia artificial dependerán del modo de implementación ya que actualmente empresas como por ejemplo Azure, AWS, Google y Oracle ofrecen servicios de

Cloud donde tienen un catálogo para la implementación de la IA, que facilita la implementación al proveer recursos de Hardware que puede ser escalado como también aplicaciones en modo SaaS (Software as a Services). Sin embargo, este tipo de implementación genera un coste adicional por la disponibilidad que ofrece estos servicios. Se describe a continuación los importes de referencia de acuerdo algunos proveedores de servicio. Oracle Cloud Infrastructure Blog. (<https://blogs.oracle.com/cloud-infrastructure/post/ai-infrastructure-cloud-cost-comparison-best-value>)

Metric	Unit	Azure	AWS	Google Cloud	OCI
		NDm A100 v4	P4de.24xlarge	A2-ultragpu-8g	BM.GPU.GM4.8
Region	Name	US East (N. VA)	East US (N. VA)	US-Central1	Any region
Instance type		Virtual machine	Virtual machine	Virtual machine	Bare metal
CPU	vCPU	96	96	96	256
CPU memory	GB	1900 GiB	1152 GB	1360 GB	2048 GB
GPU type		NVIDIA A100 80GB	NVIDIA A100 80GB	NVIDIA A100 80GB	NVIDIA A100 80GB
GPU count per instance	GPUs	8	8	8	8
Local storage	TB	6.4 TB	8 TB	3 TB	27.2 TB
Instance	Instance/month (730 hours)	\$23,922	\$29,905	\$29,602	\$23,360

Figura 21. Costos de equipos de medición del método IA a través de servicios en la nube

Por otro lado, también es posible implementar la IA sin necesidad de recurrir a estos servicios empleando software de libre uso, sin embargo, también se deberá contar con recursos de procesamiento y almacenamiento locales como también de una persona cualificada en esta área. A continuación, se detalla algunos importes para la implementación de la IA localmente. (Akio, <https://www.akkio.com/post/cost-of-ai>)

Role	Average Base Salary (U.S.)	Additional Notes
Data Scientist	\$123,775	High demand for skills like data science and <i>machine learning</i> .

Role	Average Base Salary (U.S.)	Additional Notes
Machine learning Engineer	\$161,590	Specialized role, higher salary due to expertise in AI and ML.
Software Developer	\$119,030	Essential for developing AI applications, in demand across industries.

Figura 22. Costos de equipos de medición del método IA a través de implementación local

Método de Evaluación	Ventajas	Desventajas
Método Tradicional	<ul style="list-style-type: none"> Precisión directa y normativa. Ampliamente reconocido Aceptado por regulaciones Facilidad de Uso 	<ul style="list-style-type: none"> Menos escalable para grandes áreas o múltiples ubicaciones Puede ser costoso en términos de tiempo y logística para grandes estudios. Monitoreo de grandes áreas múltiples ubicaciones por temas logísticos Vulnerabilidad a errores humanos
Métodos Basados en IA	<ul style="list-style-type: none"> Automatización del proceso de clasificación de tipos de ruido. Permite la predicción y modelado de escenarios futuros basados en datos existentes 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere grandes conjuntos de datos para entrenamiento. Puede ser menos transparente en cómo se toman las decisiones Puede ser costoso en términos de tiempo y logística para pequeños estudios. Implementación inicial puede ser costosa y técnica.

Figura 23. Figura comparativa ventajas y desventajas variable costos.

Otra variable de análisis en este estudio es el tiempo esta se consideró desde dos perspectivas la primera que tenía que ver con el tiempo en la recolección de los datos en las tomas de las mediciones de ruido y por otro lado el análisis de estas.

Para empezar en el método tradicional se evidencia en las investigaciones seleccionadas que en dos artículos la toma de las muestras se realizó de forma continua, en otros dos indica mediciones entre treinta segundos y cinco minutos y hay uno donde únicamente menciona que la medición se realizó durante la jornada laboral. Esto se puede ver a continuación en la siguiente tabla.

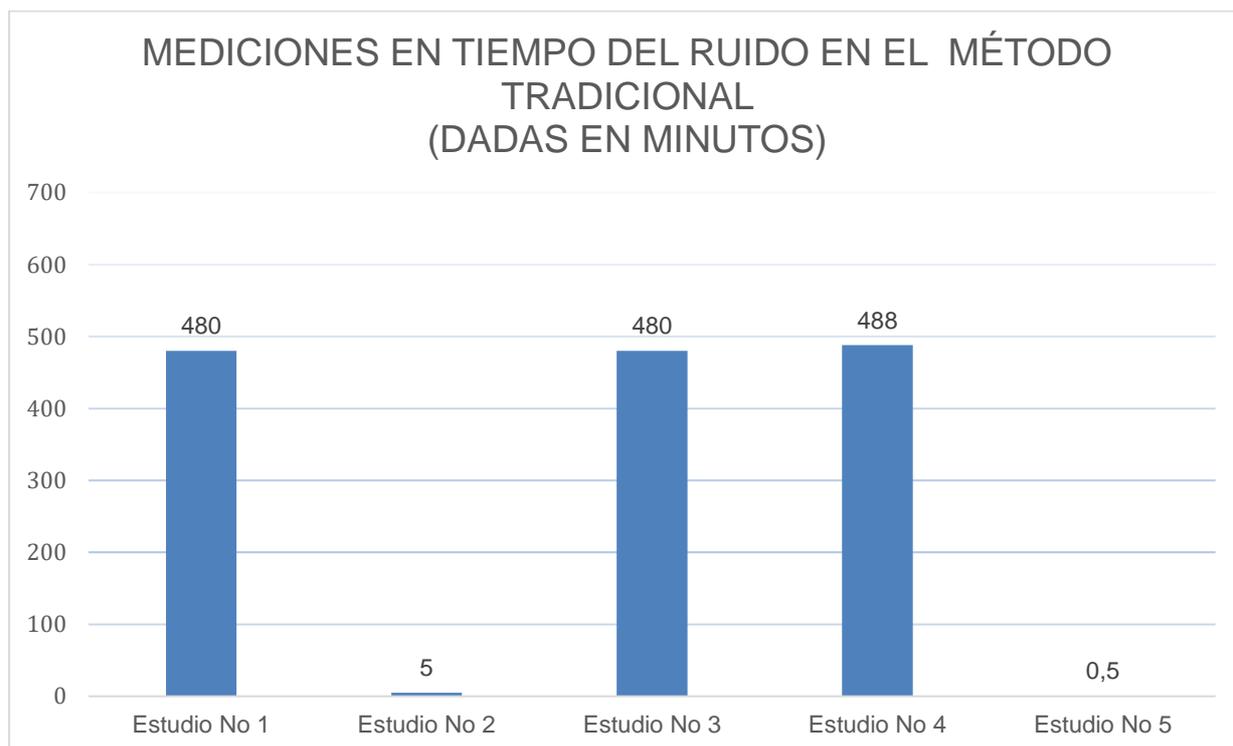


Figura 24. Mediciones de tiempo método tradicional

En cuanto a la interpretación de estas pruebas, en los artículos no explican el análisis de datos, por lo que se infiere que se rigen a través de cálculos, técnicas estadísticas y herramientas de estudio de datos para examinar la distribución y las características de los niveles de ruido registrados. Esto puede incluir la determinación de los valores promedio, máximos y mínimos de exposición al ruido, así como la identificación de tendencias temporales o geográficas.

Para luego comparar los niveles de ruido registrados con los límites de exposición ocupacional establecidos por las normativas y regulaciones locales, nacionales e internacionales. Esto puede implicar el cálculo de la dosis de ruido o la equivalente continuo de ruido para determinar si se cumplen los estándares de seguridad del país donde se realiza el estudio.

Continuando con el estudio de la variable tiempo en el método que emplea inteligencia artificial se extrae que a diferencia de los métodos tradicionales es que estos se emplean de forma continua y por periodos de tiempo prolongados.

	TIEMPO EMPLEADO DE RECOLECCIÓN	DIAS
Estudio No 1	Datos históricos un periodo de 24 horas continuas	No se especifica
Estudio No 2	Monitoreo continuo, desde las 8:00 del 1 de febrero de 2019 hasta las 23:59 del 31 de agosto de 2019.	212

Estudio No 3	Medición en diversas locaciones, Se tomaron grabaciones de 15 minutos con un intervalo de otros 15 minutos, grabando un total de 30 minutos cada hora. La primera grabación comienza el viernes 15 de julio de 2022 a las 20:17 y la última finaliza el miércoles 20 de julio a las 13:36, obteniendo un total de 51.075 clips de 4 segundos cuya duración en conjunto asciende a 56 horas y 45 minutos.	5
Estudio No 4	Datos históricos un periodo de 24 horas continuas	No se especifica

Figura 25. Figura tiempo recolección de datos IA

En los métodos con IA se identifica que la variable del tiempo se asocia más a tener una mayor cantidad de datos para entrenar el modelo y posteriormente hacer evaluación de esta con los datos recolectados.

En cuanto al análisis de los datos con la inteligencia artificial se evidencia que emplean diferentes métodos que están dentro de la inteligencia artificial y cada uno tiene unas ventajas específicas que se resalta en cada estudio investigativo. Estos se detallan a continuación.

	Método Utilizado para el Análisis de Datos	Razón para Escoger el Método Específico
Estudio No 1	Se emplearon algoritmos de <i>machine learning</i> para clasificar los tipos de ruidos ambientales.	No especificado en el resumen.
Estudio No 2	Uso de Gradient Boosting Model (GBM) para predecir niveles de ruido basado en datos recolectados y análisis estadístico.	La elección de GBM se debe a su capacidad para manejar diversas formas de dependencia de datos y por su robustez frente a las mediciones de ruido.
Estudio No 3	Desarrollo y validación de una Red Neuronal Convolutiva (CNN) para clasificar sonidos.	Las CNN fueron elegidas por su eficacia en el análisis y clasificación de datos auditivos complejos, facilitando la identificación precisa de patrones.
Estudio No 4	Aplicación de técnicas de lógica difusa (GENFIS y ANFIS) para desarrollar modelos de predicción de ruido en ambientes industriales.	Los métodos de lógica difusa y ANFIS fueron seleccionados por su capacidad para modelar la incertidumbre y manejar sistemas no lineales complejos.

Figura 26. Figura métodos de análisis de datos IA

Estos modelos logran manejar una gran y diversa cantidad de datos, llegando a clasificar la información originada por el ruido, donde se puede procesar una variedad de medidas como pueden ser las diferentes frecuencias muestreadas, los amplios rangos de tiempos de las mediciones, para llegar a detectar patrones y obtener predicciones a partir de estos datos.

6.2 Comparación método tradicional vs método IA - Variable tiempo

El aspecto diferenciador más relevante en esta variable está relacionado con la cantidad de tiempo empleado para toma de medición del ruido, puesto que en el método tradicional es que está condicionado en hacer muestreos en un tiempo determinado, mientras que en la inteligencia artificial tiene como requisito realizar las mediciones por tiempos prolongados con el fin de obtener la mayor cantidad de datos para que en el proceso del entrenamiento del modelo de la IA sea más preciso.

En cuanto al tiempo empleado en el análisis de los datos, se observa que en el método tradicional se analiza la información que únicamente se recolecta durante el tiempo de medición de los datos, además, esta puede generar desviaciones en el resultado procedente de la manipulación manual. Otro aspecto asociado a esta etapa de procesamiento de la información tiene que ver con la cantidad de los datos que puedan ser recolectados, procesados y finalmente analizados.

Ahora, la inteligencia artificial está asociada con el *Big Data*, por lo tanto, esta tecnología le permite recolectar, procesar y analizar una gran cantidad de información, haciendo el proceso más ágil y confiable ya que automatiza el proceso evitando la manipulación manual, aumenta el tiempo de muestreo, posibilitando realizar mediciones continuas las 24 horas.

Método de Evaluación	Ventajas	Desventajas
Método Tradicional	<ul style="list-style-type: none"> • Permite mediciones inmediatas y específicas. • Facilidad de uso transparencia no requiere de algoritmos ni conocimientos en IA 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere presencia física en el sitio. • Limitación en análisis de datos. • Vulnerabilidad a errores humanos • Menor Capacidad para manejar grandes volúmenes de datos
Métodos Basados en IA	<ul style="list-style-type: none"> • Automatización del proceso de clasificación de tipos de ruido. • Permite la predicción y modelado de escenarios futuros basados en datos existentes • Puede mejorar la precisión con el tiempo mediante aprendizaje continuo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere grandes conjuntos de datos para entrenamiento. • Dependiente de la calidad y cantidad de los datos históricos

Figura 27. Ventajas y desventajas método tradicional versus AI variable tiempo

Por último, en la variable resultados en el método tradicional la confiabilidad está dada a través de los aspectos como selección del equipo a utilizar, en la rigurosidad en la calibración de los equipos. Como se muestra a continuación en el 100% de los estudios que emplean los métodos tradicionales que cumplieron a cabalidad con los requisitos para realizar mediciones del ruido.

	EQUIPOS	NORMA	CALIBRACION
ESTUDIO 1	Sonómetro balanced noise criteria curves (NCB) dosímetro Clase 0	Noma ECE 60651	SI
ESTUDIO 2	Sonómetro Optimos Cirrus Clase 1 exactitud $\pm 1,0\text{dB}$	Calibrated SV104IS noise-dosimeters	SI
ESTUDIO 3	Sonómetro integrador Clase 2	Pistofón marca CIRRUS modelo CR: 511E	SI
ESTUDIO 4	Dosimeters, which recorded both daily time-weighted averages (TWAs)	calibrated according to local regulations calibrated according to local regulations	SI
ESTUDIO 5	Sound level meter and the calibrator based in California	The calibrator based in California	SI

Figura 28. Figura confiabilidad en la evaluación de ruido variable resultados

Dentro de la confiabilidad en este aspecto es importante tener en cuenta la metodología aplicada en cada una de las evaluaciones que para estos estudios se adhirieron a la normatividad del país de estudio y los estándares de exposición al ruido ocupacional aplicables. además del uso de los análisis estadísticos empleados en el procesamiento de los datos.

Por otra parte, los niveles de confiabilidad en los métodos que emplean inteligencia artificial se dan por el registro manual de la información de las mediciones, también por la gran cantidad de muestras que procesan generando una visión más precisa en la evaluación, adicionalmente estos datos permiten que la IA pueda predecir eventos precisos de la contaminación y riesgo auditivo.

6.2.1 Comparación método tradicional vs método IA - Variable Resultados

Una vez identificado los principales aspectos de fiabilidad, eficacia y eficiencia tanto de los métodos tradicionales como los que emplean inteligencia artificial, es necesario comparar estos aspectos que marcan la diferencia entre un método y otro.

Aspecto Evaluable	Método Tradicional	Método Basado en IA
Confiabilidad	<ul style="list-style-type: none"> Alta, debido a la calibración estandarizada y la precisión directa de instrumentos como sonómetros y dosímetros. 	<ul style="list-style-type: none"> Varía; generalmente alta con adecuada validación de datos y modelos, pero puede ser percibida como menor debido a la complejidad de los algoritmos ("caja negra").

<p>Eficacia</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Muy efectivo para mediciones precisas y cumplimiento de normativas específicas. • Eficaz para medir niveles exactos de ruido en el momento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy efectivo en identificar patrones complejos y realizar predicciones a partir de grandes conjuntos de datos, lo que puede superar en análisis a métodos tradicionales. • Capaz de analizar datos de ruido a lo largo del tiempo, proporcionando una visión más estratégica y predictiva que puede ser crucial para la planificación de medidas de mitigación del ruido a largo plazo.
<p>Eficiencia</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menor en escenarios de gran escala debido a la necesidad de equipamiento y personal en cada ubicación. • Requiere un despliegue físico y operación manual, lo que puede ser ineficiente para proyectos grandes o de largo plazo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta en términos de procesamiento de grandes volúmenes de datos y capacidad para monitorear múltiples fuentes simultáneamente. • La automatización y la capacidad de procesar grandes conjuntos de datos rápidamente ofrecen una eficiencia significativa, especialmente en aplicaciones a gran escala.

Figura 29. Figura indicadores de eficacia y eficiencia variable resultados

Finalmente se realiza la comparación en la variable resultados detallando las ventajas y desventajas que tiene ambos métodos.

Método de Evaluación	Ventajas	Desventajas
<p>Método Tradicional</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los métodos tradicionales son muy efectivos en entornos controlados donde la precisión directa es crucial, especialmente en cumplimiento con las normativas de seguridad y salud. 	<ul style="list-style-type: none"> • La eficiencia puede ser limitada en proyectos de gran escala o en entornos dispersos geográficamente, ya que cada sitio requiere equipo y mediciones individuales, lo que puede resultar costoso y logísticamente desafiante.
<p>Métodos Basados en IA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los métodos basados en IA son efectivos en escenarios donde se requiere análisis de grandes cantidades de datos y la capacidad de predecir tendencias futuras a partir de datos históricos, ofreciendo ventajas en la planificación y mitigación a largo plazo. • La eficiencia de los métodos basados en IA es alta, especialmente en términos de escalabilidad y la capacidad de integrar y analizar datos de múltiples sensores o fuentes de manera simultánea, reduciendo significativamente el tiempo y los recursos necesarios para el monitoreo continuo 	<ul style="list-style-type: none"> • Aunque los modelos de IA pueden ser extremadamente precisos, su confiabilidad puede cuestionarse sin una validación exhaustiva, ya que los procesos internos son menos transparentes para los usuarios finales dependerán en gran medida de la limpieza de los datos que se utilizan en el <i>Datasets</i>, este es un punto importante, ya que si los datos no están ajustados el resultado se puede contaminar • Reentrenamiento y costos computacionales • Mantener la calibración del modelo frente a cambios en los datos (<i>Datasets shift</i>) es un desafío, ya que puede afectar la confianza en las predicciones del modelo

7 CONCLUSIONES

Los hallazgos de este estudio tienen importantes implicaciones para la práctica de la higiene industrial, puesto que se encontró que tanto el método tradicional como la IA son efectivos en la evaluación del ruido en entornos laborales. Ambos métodos proporcionaron resultados precisos y útiles para la identificación y mitigación de riesgos asociados al ruido en el trabajo.

Se observaron diferencias significativas entre los dos enfoques ambos métodos tienen sus ventajas y limitaciones. La elección entre métodos tradicionales y basados en IA debe basarse en los objetivos específicos de la evaluación del ruido, el entorno en el que se aplicarán, y los recursos disponibles. Los métodos tradicionales siguen siendo indispensables para cumplir con los requisitos normativos y proporcionar mediciones precisas y directas, mientras que los métodos de IA ofrecen un potencial considerable para mejoras en la gestión del ruido a través de capacidades predictivas y analíticas avanzadas.

Por lo indicado hasta el momento es relevante detallar las conclusiones por cada método.

7.1 Conclusión sobre Métodos Tradicionales

Los métodos tradicionales son conocidos por su amplia fiabilidad comprobada, el uso de sonómetros y dosímetros, cumplen con normativas establecidas, lo que los hace adecuados para cumplimiento regulatorio y evaluaciones de seguridad inmediatas.

La evaluación con este método es relativamente fácil de implementar y requieren poco entrenamiento técnico avanzado, facilitando su adopción en diversos entornos laborales.

Tiene limitaciones en “escalabilidad y análisis”: Aunque son efectivos para mediciones puntuales y específicas, carecen de la capacidad para manejar grandes volúmenes de datos o realizar análisis predictivos, limitando su utilidad en la planificación a largo plazo y en entornos dinámicos.

Pueden ser costosos y logísticamente desafiantes para monitorizar grandes áreas o múltiples ubicaciones debido a la necesidad de hardware y personal.

7.1.1 Conclusión sobre Métodos Basados en IA

Los métodos que utilizan IA, especialmente aquellos que implementan *machine learning* y algoritmos avanzados, tienen capacidades analíticas avanzadas de analizar grandes conjuntos de datos para identificar patrones y hacer predicciones precisas sobre el ruido.

Estos métodos tienen una mejora continua y adaptabilidad a medida que se recopilan y analizan más datos, los modelos de IA pueden mejorar su precisión y adaptabilidad, ofreciendo soluciones más personalizadas y efectivas para el control del ruido.

Las limitaciones que tienen estos métodos son los desafíos en la transparencia y la confianza: aunque potentes, los modelos de IA pueden ser percibidos como cajas negras, lo que puede afectar la confianza de los usuarios en los resultados, especialmente en contextos que requieren claridad en la metodología para fines legales o regulatorios.

Otra limitación son los costos, aunque la implementación inicial de soluciones de IA puede requerir una inversión significativa en desarrollo y entrenamiento de modelos, estos métodos pueden ser más coste-efectivos a largo plazo debido a su capacidad para automatizar la recolección y análisis de datos.

Concluyendo y como se ha mencionado anteriormente ambos métodos se caracterizan por su confiabilidad y eficiencia, es por ello por lo que, en muchos casos, una combinación de ambos enfoques podría ser la más efectiva, aprovechando la precisión y confiabilidad de los métodos tradicionales junto con la innovación y la escalabilidad de la IA

Sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones de este estudio. La muestra utilizada no es completamente representativa de todos los entornos laborales, y se necesitan estudios adicionales para validar los resultados obtenidos. Además, se requiere una mayor investigación para explorar completamente el potencial de la IA en la higiene industrial y abordar posibles preocupaciones éticas y prácticas.

En resumen, este estudio proporciona una evaluación integral de los métodos tradicional y de IA para la evaluación del ruido en higiene industrial, destacando las ventajas y desafíos de cada enfoque. Se espera que estos hallazgos contribuyan al avance del conocimiento en el campo de la seguridad y salud laboral, así como a la mejora continua de las prácticas de higiene industrial en entornos laborales diversos.

8 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Al explorar las diferencias y complementariedades entre los métodos tradicionales de evaluación del ruido y los basados en inteligencia artificial (IA), existen varias áreas prometedoras para futuras investigaciones que podrían enriquecer el entendimiento y la aplicación práctica de estas tecnologías.

Investigar cómo los métodos tradicionales pueden integrarse de manera eficiente con herramientas basadas en IA para crear sistemas híbridos que aprovechen la precisión y confiabilidad en las evaluaciones del ruido industrial.

Otro estudio sería desarrollar técnicas que aumenten la transparencia y la capacidad de interpretación de los modelos de IA, para lograr el aprendizaje de los prevenicionistas y personal encargado de la prevención de riesgos laborales.

Realizar estudios que se enfoquen en la validación y estandarización de modelos de IA en la evaluación del ruido, asegurando que estos modelos cumplan con normativas internacionales de medición de ruido.

Diseñar estudios de caso en diversos sectores industriales para documentar y comparar cómo los métodos tradicionales y los basados en IA se desempeñan en diferentes contextos industriales, ambientales y geográficos.

Desarrollar estudios para la automatización de los procesos en las industrias donde se generen medidas preventivas como generación de alertas automáticas para el cuidado de la salud auditiva de los trabajadores a partir de los datos procesados por lo modelos.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Adakporia, K. O. (2020). Health Impact of Occupational Exposure to Noise—A Mixed Method Assessment. *Global Journal of Science Frontier Research: H Environment & Earth Science*, 20(2), 1-7.
<https://researchrepository.rmit.edu.au/esploro/outputs/journalArticle/Health-Impact-of-Occupational-Exposure-to/9921976104101341>
- Aliabadi, M., Farhadian, M., & Darvishi, E. (2015). Prediction of hearing loss among the noise-exposed workers in a steel factory using artificial intelligence approach. *International archives of occupational and environmental health*, 88, 779-787.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00420-014-1004-z>
- Aliabadi, M., Golmohammadi, R., Khotanlou, H., Mansoorizadeh, M., & Salarpour, A. (2015). Artificial neural networks and advanced fuzzy techniques for predicting noise level in the industrial embroidery workrooms. *Applied Artificial Intelligence*, 29(8), 766-785.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08839514.2015.1071090>
- AWS., Amazon, ¿Cuál es la diferencia entre el aprendizaje profundo y las redes neuronales?
<https://aws.amazon.com/es/compare/the-difference-between-deep-learning-and-neural-networks/>
- Casado, (2022), Redes neuronales convolucionales y aplicaciones,
<https://docta.ucm.es/bitstreams/f17a3ddf-59d9-456f-a02b-af964e575daa/download>
- Certicalia., (2018) Tipos de sonómetro: clase 1 y clase 2. <https://www.certicalia.com/blog/tipos-sonometro-clase-1-clase-2>
- Coronel, L. M. S., Campoverde, D. O. C., & Camuendo, C. P. C. (2021). Evaluación del ruido laboral producido por equipos industriales en un taller automotriz. *Revista Conecta Libertad* ISSN 2661-6904, 5(3), 13-26.
<https://revistaitsl.itslibertad.edu.ec/index.php/ITSL/article/view/250>
- EU Artificial Intelligence Act, (2024) La Ley de Inteligencia Artificial de la UE Evolución y análisis actualizados de la Ley de AI de la UE <https://artificialintelligenceact.eu/es/>
- Ganime, J. F., Da. (2010). El ruido como riesgo laboral: una revisión de la literatura. *Enfermería global*, 9(2). <https://scielo.isciii.es/pdf/eg/n19/revision1.pdf>
- García Pérez, A. (2018). Detección de fuentes sonoras con robot.
https://oa.upm.es/53362/1/TFG_ANA_GARCIA_PEREZ.pdf
- Genaro García, N. (2014). Sistema de predicción de ruido urbano mediante redes neuronales. Universidad de Granada.
<https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/35111/24184639.pdf>

- Gobierno de España. (1995). Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. BOE núm. 269, de 10 de noviembre de 1995. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1995-24292>
- Gobierno de España. (2006). Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos (BOE núm. 76, de 29 de marzo de 2006). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2006-4414>
- Gobierno de España. (2006). Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 74, de 28 de marzo de 2006. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2006-5515>
- Google Cloud., (2023) Flujo de trabajo de aprendizaje automático AA, <https://cloud.google.com/ai-platform/docs/ml-solutions-overview?hl=es-419>
- IBM., (2021) El modelo de redes neuronales <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=networks-neural-model>
- International Organization for Standardization. (2009). ISO 9612:2009 Acoustics - Determination of occupational noise exposure - Engineering method <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/08/13/81317.html?browse=ics>
- Instrumentación, P. I. S. (2024, 27 abril). *Sonometric* | PCE Instruments. https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/sonometro-kat_70046.htm
- Leung & Parthasarathy(2023, June 13) Oracle Cloud Infrastructure Blog, AI Infrastructure cloud cost comparison: Who provides the best value? <https://blogs.oracle.com/cloud-infrastructure/post/ai-infrastructure-cloud-cost-comparison-best-value>
- Marchant, L. C. Noticias y actividades avances de proyecto de investigación "algoritmos para mejorar la asignación de herramientas preventivas mediante técnicas de inteligencia artificial y big data" <https://www.ispch.cl/redsochi/092022/>
- Martín Leal, S., & Rojas Sánchez, G. A. (2014). Exposición a ruido en la fábrica de Materiales Higiénico Sanitarios de Sancti Spíritus. *Gaceta Médica Espirituana*, 16(1), 20-29. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S160889212014000100004&script=sci_arttext&tlng=en
- Martínez, M. G., García, J. J. J., Ceballos, L. Y., Valencia, A. M., Zapata, M. A. V., & Trespacios, E. M. V. (2012). Ruido industrial: efectos en la salud de los trabajadores expuestos. *Revista CES Salud Pública*, 3(2), 174-183. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4163349>

- Montalvo Álvarez, E. L. (2019). Análisis del riesgo físico de ruido en mantenimiento por granallado de tolvas de volquete aplicando el método de las bandas de octava para empresa metalmecánica–Arequipa. https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/1916/Erland%20Montalvo_Trabajo%20de%20Investigacion_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mundo Medicion, Sonometros, https://mundomedicion.com/?product_cat=sonometros
- Neitzel, R., Seixas, N. S., Camp, J., & Yost, M. (1999). An assessment of occupational noise exposures in four construction trades. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 60(6), 807-817. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=An+Assessment+of+Occupational+Noise+Exposures+in+Four+Construction+Trades&btnG=#d=gs_cit&t=1713212191470&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3AN_KyzXZvCPUJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26hl%3Des
- Nemer., (2013) Introducción a los anfis-l https://www.researchgate.net/publication/236862181_INTRODUCCION_A_LOS_ANFIS-L
- Nicora, G., Rios, M., Abu-Hanna, A., & Bellazzi, R. (2022). Evaluating pointwise reliability of *machine learning* prediction. *Journal of Biomedical Informatics*, 127, 103996. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1532046422000120>
- OSI (2023) Oficina de seguridad del internauta, Google Dorks te ayuda a encontrar información sobre ti en la Red. <https://www.incibe.es/ciudadania/blog/google-dorks-te-ayuda-encontrar-informacion-sobre-ti-en-la-red>
- Rathipe, M., & Raphela, F. S. (2022). Assessment of occupational exposure to noise among sawmill workers in the timber processing factories. *Applied Artificial Intelligence*, 36(1), 2110696. <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/08839514.2022.2110696?needAccess=true>
- Reilly (2023, November 24) Akkio, Cost of AI in 2024: Estimating Development & Deployment Expenses <https://www.akkio.com/post/cost-of-ai>.
- Riesgos laborales físicos - ruido - INSST - Portal INSST - INSST. (s. f.). Portal INSST. <https://www.insst.es/materias/riesgos/riesgos-fisicos/ruido>
- Romero Duque, G. A., Acero Calderón, J., & Jaimes Becerra, M. (2016). Generación de mapas de ruido (industrial) desde sistemas de información geográfica. Un acercamiento desde la literatura. *Tecnura*, 20(49), 152-166. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-921X2016000300010&script=sci_arttext

- Sparke, C. (2018, November). Environmental noise classification through *machine learning*. In Proceedings of ACOUSTICS (Vol. 7, No. 9). https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/AAS2018/papers/p85.pdf
- UNE-EN ISO 9612:2009 Acústica. Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. Método de ingeniería. (ISO 9612:2009). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0044443>
- UNE-EN 61672-1. (2003). Electroacústica - Sonómetros - Parte 1: Especificaciones (ISO 61672-1:2002). Asociación Española de Normalización. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0053649>
- Unión Europea. (2003). Directiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de febrero de 2003 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido) Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L 42/38, 15 de febrero de 2003. <https://www.boe.es/doue/2003/042/L00038-00044.pdf>
- Universidad Europea, (2023) Ruido. Equipos de medida, p.3 https://campus.europaeducationgroup.es/courses/42513/files/7174574?module_item_id=798326
- Vellella Ramos, Á. (2022). Análisis de la contaminación acústica mediante Inteligencia Artificial. <https://oa.upm.es/71828/>
- Wen, P. J., & Huang, C. (2020). Noise prediction using *machine learning* with measurements analysis. Applied Sciences, 10(18), 6619. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/18/6619>
- Wissar Revolo, K. S. (2017). Influencia del ruido ambiental-ocupacional en la perturbación de los trabajadores del Colegio Trilce de la ciudad de Huancayo durante el año 2015. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/3590/1/INV_FIN_107_TE_Wissar_Revolo_2017.pdf

10 ANEXOS

Instrumento de recolección de datos, tabla de doble entrada.

		MODELO TRADICIONAL				
		ESTUDIO 1	ESTUDIO 2	ESTUDIO 3	ESTUDIO 4	ESTUDIO 5
ARTICULO		Assessment of Occupational Exposure to Noise among Sawmill Workers in the Timber Processing Factories	Evaluación del ruido laboral producido por equipos industriales en un taller automotriz	Exposición a ruido en la fábrica de Materiales Higiénico Sanitarios de Sancti Spiritus"	An Assessment of Occupational Noise Exposures in Four Construction Trades	Health Impact of Occupational Exposure to Noise – A Mixed Method Assessment
COSTOS EMPLEADOS	El artículo no proporciona detalles específicos sobre los costos asociados con la realización del estudio. Sin embargo, informa los equipos como sonómetros dosímetros Encuestas Mapeos Fuente Sonora (Medidor de Nivel de Sonido Integrador de Tipo 1) calibraciones de los equipos que supone inversión en costos	Este estudio sobre ruido laboral no detalla los costos asociados en este varío dependiendo el número de mediciones realizadas, y la duración del periodo de evaluación, los equipos empleados fueron sonómetros, dosímetros análisis estadísticos	No indicados en el estudio, pero se empleó costos el equipo de medición (sonómetro), calibración del equipo y el tiempo del personal involucrado en la recolección y análisis de los datos.	el documento no proporciona detalles específicos sobre los costos directos asociados con la realización del estudio ni el tiempo total empleado. La financiación parcial del proyecto fue proporcionada por el Center to Protect Workers' Rights a través de la Small Study Grant 97-4-PS, lo que indica apoyo financiero externo para la investigación.	El documento no proporciona detalles específicos sobre los costos directos asociados ni el tiempo total empleado en la realización del estudio. Los equipos usados fueron y usó un sonómetro CEL-485 para realizar mediciones y análisis de banda de frecuencia en la ubicación con el nivel de ruido más alto.	

<p>TIEMPO</p>	<p>El documento menciona que el monitoreo se llevó a cabo durante jornadas laborales de 8 horas (de 8:00 a.m. a 4:00 p.m.), excluyendo los tiempos de almuerzo y té. Se describe que el análisis de datos se realizó utilizando el paquete Microsoft Office Excel 2019 para obtener estadísticas descriptivas</p>	<p>8 HORAS JORNADA- toma de 5 minutos hasta tener un pico de presión estable no menciona el tiempo en análisis de datos</p>	<p>8 HORAS (MAÑANA MEDIO DIA TARDE) El análisis estadístico y la interpretación de los datos se centraron en determinar el Nivel Sonoro Equivalente Continuo (Leq) en diferentes puestos de trabajo y comparar estos niveles con los estándares de exposición al ruido establecidos en la normativa cubana.</p>	<p>22 SEMANAS- PROMEDIO FUERON 488 (8 HORAS) MINUTOS CON UN RANGO 31 A 607 MINUTOS. se menciona el uso de modelos de regresión para identificar características del trabajo asociadas con niveles elevados de exposición al ruido. Esto sugiere un análisis de datos meticuloso y riguroso, aunque no se proporcionan detalles sobre la duración de este proceso.</p>	<p>Las mediciones de ruido se llevaron a cabo, con mediciones tomadas durante 30 segundos en cada una de las 30 ubicaciones seleccionadas, aproximadamente a 5 metros de distancia en una cuadrícula, mientras la instalación operaba al 95% de su capacidad. Utilizaron métodos mixtos y varias herramientas analíticas, no se proporciona información específica sobre la duración del análisis o la interpretación de los resultados obtenidos</p>
----------------------	---	---	---	---	---

RESULTADOS	<p>este estudio no menciona explícitamente la confiabilidad, eficiencia ni eficacia del estudio en sí. Sin embargo, se pueden inferir aspectos de la confiabilidad basándonos en la metodología descrita, el uso de equipos calibrados para la medición de ruido, y la aplicación de pruebas estadísticas para analizar los datos recogidos</p>	<p>Niveles de Ruido Medidos: Información sobre los niveles promedio de ruido y los picos de ruido registrados en diferentes áreas del taller.</p> <p>Comparación con Normativas: Una evaluación de cómo se comparan los niveles de ruido medidos con las normativas o estándares de exposición al ruido ocupacional aplicables.</p> <p>Identificación de Fuentes de Ruido: Identificación de las principales fuentes de ruido dentro del taller y su contribución a los niveles generales de exposición.</p>	<p>Confiabilidad del Estudio Calibración de Equipos: Se utilizó un sonómetro integrador calibrado para las mediciones, lo que contribuye a la precisión y confiabilidad de los datos recogidos. Metodología Estandarizada: La adhesión a la normativa cubana para la medición del ruido en los puestos de trabajo sugiere una metodología sistemática y confiable.</p>	<p>Confiabilidad del Estudio Validación Interna: Un subestudio de validación interna indicó un excelente acuerdo entre el autoinforme de los trabajadores y la observación del investigador, con una estadística de kappa de Cohen para tareas y herramientas indicando alta fiabilidad en la recopilación de datos. Comparación de Métricas de Exposición: Se compararon las exposiciones medidas usando la métrica de exposición de OSHA y la métrica de borrador de NIOSH/ISO, examinando los efectos de diferentes tasas de intercambio y tiempos de respuesta del instrumento en las exposiciones al ruido de construcción.</p>	<p>Método Mixto de Investigación: El estudio empleó un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos. Esto permite una comprensión más profunda y validada de los resultados, ya que se utilizan dos enfoques complementarios para recoger y analizar datos. Calibración de Equipos: Se utilizó un sonómetro CEL-485, que fue calibrado primariamente en el laboratorio del fabricante y secundariamente en el sitio antes de realizar las mediciones. La calibración asegura que los datos de ruido recogidos son precisos y fiables. Las mediciones de ruido se realizaron utilizando una técnica de muestreo sistemática y estandarizada, tomando medidas por 30 segundos en cada una de las 30 ubicaciones seleccionadas aproximadamente a 5 metros de</p>
-------------------	---	---	---	---	--

					distancia en una cuadrícula. Esto asegura que la recogida de datos sea homogénea y representativa de la instalación.
--	--	--	--	--	--

		INTELIGENCIA ARTIFICIAL			
		ESTUDIO 1	ESTUDIO 2	ESTUDIO 3	ESTUDIO 4
Artículo		Environmental Noise Classification through <i>Machine learning</i>	Noise Prediction Using <i>Machine learning</i> with Measurements Analysis	Análisis de la contaminación acústica mediante Inteligencia Artificial	Development of a Noise Prediction Model Based on Advanced Fuzzy Approaches in Typical Industrial Workrooms
COSTOS EMPLEADOS	Se utilizó el aprendizaje supervisado mediante clasificación, empleando Scikit-learn, una biblioteca en Python que proporciona implementaciones de una gama de algoritmos de aprendizaje automático. Se probaron varios algoritmos de clasificación, incluidos Support Vector Machines (SVM), modelos lineales generalizados (regresión logística), árboles de decisión, algoritmos de vecinos más cercanos, redes neuronales y métodos de ensamble (como random forest). El algoritmo de k-Nearest Neighbors (kNN) mostró el mejor rendimiento y fue seleccionado para el desarrollo del modelo final.	Métodos de Medición Modelo Utilizado: Gradient Boosting Model (GBM). Datos: Más de 13 millones de muestras de ruido recogidas desde febrero hasta agosto de 2019 con sensores de ruido instalados alrededor del entorno laboral. Análisis de Datos: Análisis estadístico de Leq diario y mensual a partir de los datos de 12 sensores en diferentes frecuencias, con limpieza de datos para derivar información útil. Costos Asociados a Estas Mediciones Costos de Implementación: El documento no proporciona detalles específicos sobre los costos asociados a las mediciones de ruido y al desarrollo y aplicación del modelo GBM.	Modelo de IA Utilizado: Se diseñó, entrenó y validó una red neuronal convolucional (CNN) para clasificar sonidos ambientales. Hardware y Software Empleados: Se utilizó una Raspberry Pi con un micrófono Omnitronic MIC MM-2USB, apoyada por batería externa y un sonómetro VOLTCRAFT para calibración. Desarrollo y Implementación: El modelo de CNN se desarrolló utilizando diversas librerías en Python y se implementó en un dispositivo de bajo coste compuesto por la Raspberry Pi y el micrófono para la recogida de datos ambientales. Presupuesto del Proyecto: Se proporciona una descripción detallada del hardware utilizado y se menciona un	Técnicas Utilizadas: Redes neuronales artificiales (ANNs) y técnicas difusas avanzadas, específicamente el sistema de inferencia neurodifuso adaptativo (ANFIS). Datos Recolectados: Se recopiló datos de 60 salas de trabajo de bordado, seleccionando descriptores acústicos de las salas según la normativa ISO 11690-3. El nivel de ruido se midió usando un sonómetro integrador, y los errores de predicción para todas las estructuras asociadas con redes neuronales y modelos difusos fueron similares y menores de 1 dB. Costos Asociados a Estas Mediciones El estudio no proporciona detalles explícitos sobre los costos	

			presupuesto, pero no se especifica una cifra total de costos en el resumen proporcionado	asociados con las mediciones y el desarrollo de los modelos de predicción de ruido.
TIEMPO	<p>tiempodatos validado y preparado manualmente a partir de datos históricos de monitoreo, representativo de un período típico de 24 horas anotaciones manuales que identificaban la fuente predominante de ruido en cada intervalo de tiempo de 10 segundos. Los datos de medición incluyen resultados promedio de 10 segundos en bandas de 1/3 de octava, obtenidos de sistemas de monitoreo de ruido ambiental.</p>	<p>8:00 del 1 de febrero de 2019 hasta las 23:59 del 31 de agosto de 2019. El NSRRC instaló 12 sensores de detección de ruido alrededor del entorno laboral, recolectando datos de diferentes frecuencias: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz, y 16 kHz.</p>	<p>Procedimiento de Medición: Se tomaron grabaciones de 15 minutos con un intervalo de otros 15 minutos, grabando un total de 30 minutos cada hora. La primera grabación comienza el viernes 15 de julio de 2022 a las 20:17 y la última finaliza el día miércoles 20 de julio a las 13:36, obteniendo un total de 51.075 clips de 4 segundos cuya duración en conjunto asciende a 56 horas y 45 minutos.</p>	<p>área de bordado durante un tiempo de muestreo continuo, sin detallar el rango o fechas de tiempo empleadas para la medición del ruido.</p>

<p>RESULTADOS</p>	<p>En el estudio indica que, para ciertos tipos de ruido, como el ruido de la mina, hubo una alta tasa de coincidencia entre las clasificaciones automáticas y manuales, con un 88% de precisión en la identificación del ruido de la mina. El modelo fue capaz de identificar correctamente la mayoría de las fuentes principales de ruido. Esto sugiere que el modelo ha aprendido con éxito las características representativas de las fuentes individuales de ruido.</p> <p>Evaluación de Contribuciones Específicas de Ruido</p> <p>Cuando se utilizó la clasificación automatizada para evaluar las contribuciones específicas del ruido de la mina en intervalos de 15 minutos, los resultados fueron consistentes con las evaluaciones manuales realizadas por expertos acústicos. Más de la mitad de los resultados derivados de las clasificaciones del modelo estuvieron dentro de +/-1 dB(A) de los resultados evaluados manualmente, y casi el 95% de los</p>	<p>Precisión del Modelo: El Root Mean Square Error (RMSE) de las predicciones de ruido dañino fue inferior a 1 dBA, y el coeficiente de determinación (R^2) fue superior a 0.7, indicando un rendimiento de predicción favorable.</p> <p>Validación del Modelo: Se utilizó una validación de muestra dividida o validación cruzada de diez veces para evaluar la precisión de los modelos, mejorando la confiabilidad de las predicciones.</p>	<p>Validación del Modelo: Se llevó a cabo un proceso detallado de entrenamiento y validación de la CNN, utilizando un conjunto de datos de libre acceso para garantizar la precisión y fiabilidad de la clasificación de sonidos ambientales.</p>	<p>Precisión y Validación: La precisión de los modelos se validó con errores de predicción inferiores a 1 dB, lo que sugiere una alta confiabilidad en la predicción del nivel de ruido en las salas de trabajo de bordado. Se emplearon métodos de validación como la validación de muestra dividida y la validación cruzada para mejorar la confiabilidad de las predicciones.</p>
--------------------------	--	---	---	--

	<p>resultados estuvieron dentro de +/-3 dB(A). Confiabilidad del Estudio La confiabilidad del estudio se refuerza por el hecho de que los resultados obtenidos por el modelo de aprendizaje automático fueron consistentemente similares a los obtenidos por expertos humanos en la clasificación de fuentes de ruido y en la evaluación de contribuciones específicas de ruido. La implementación de métodos de <i>machine learning</i>, como k-Nearest Neighbors (KNN), y el uso de una amplia gama de datos para entrenamiento y validación, contribuyeron a la robustez y precisión del modelo desarrollado. Además, la metodología detallada, incluyendo la preparación de datos, el entrenamiento y la evaluación del modelo, proporciona una base sólida para la replicación y verificación independiente de los resultados.</p>			
--	---	--	--	--