

EVALUACIÓN DEL RUIDO INDUSTRIAL Y SU EFECTO EN LA SALUD OCUPACIONAL

EVALUATION OF INDUSTRIAL NOISE AND ITS EFFECT ON OCCUPATIONAL HEALTH

Britany Fiorella Bermeo-Campos¹, Iván Patricio Viteri García², Oliver Alexander Cárdenas Solari³, Jomaly Estefanía Rodríguez Ramírez⁴

{azamorari@faciag.utb.edu.ec¹, ivan.viterega@ug.edu.ec², olivercardenas002@gmail.com³, jrodriguezr@faciag.utb.edu.ec⁴}

Fecha de recepción: 22/06/2026 / Fecha de aceptación: 06/07/2026 / Fecha de publicación: 08/07/2026

RESUMEN: El ruido dentro de los ambientes fabriles se ha consolidado como uno de los riesgos físicos más preocupantes, afectando de forma directa tanto el bienestar como el rendimiento de quienes trabajan en los sectores manufacturero y agroindustrial. Esto se debe, principalmente, a que la maquinaria pesada opera de manera continua, generando niveles de presión sonora tan altos que ponen en peligro la salud de los operarios. Frente a esta realidad, esta investigación se propuso examinar cómo influye la contaminación acústica en el clima de trabajo, además de analizar qué tan viables son las estrategias de control técnico y administrativo que se aplican actualmente en las organizaciones. Para lograrlo, se realizó una revisión sistemática con enfoque narrativo, siguiendo de cerca las pautas de la declaración PRISMA 2020. Este proceso implicó seleccionar y analizar detalladamente 37 artículos científicos publicados entre 2021 y 2026 en plataformas de gran prestigio como Scopus, Web of Science, ScienceDirect, PubMed, IEEE Xplore y SciELO. Los datos obtenidos demuestran que el ruido en los espacios de trabajo suele moverse entre los 80 y 105 dB(A), una escala que sobrepasa constantemente los límites legales fijados por las normas internacionales. En cuanto a las soluciones para mitigarlo, los cambios de ingeniería demostraron ser la opción más efectiva, logrando bajar el ruido entre 15 y 30 dB(A). Por otro lado, usar correctamente los protectores auditivos disminuye la exposición real entre un 20% y un 35%, mientras que implementar sistemas de gestión bajo la norma ISO 45001 reduce la aparición de patologías laborales hasta en un 40%. Como conclusión, los resultados coinciden en que desempeñarse bajo un ruido extremo provoca, inevitablemente, hipoacusia neurosensorial, fatiga crónica, estrés elevado y problemas cardiovasculares.

¹Estudiante, Universidad Técnica de Babahoyo (UTB)- Ecuador, <https://orcid.org/0009-0008-3666-2504>, 0988919934

²Docente, Universidad Técnica de Babahoyo (UTB)- Ecuador, <https://orcid.org/0000-0003-0522-3302>

³Estudiante, Universidad Técnica de Babahoyo (UTB)- Ecuador, <https://orcid.org/0009-0005-5683-3006>, +593 0985040688

⁴Estudiante, Universidad Técnica de Babahoyo (UTB)- Ecuador, <https://orcid.org/0009-0007-7819-3411>, 0994530414

Palabras clave: *Agroindustria, exposición sonora, pérdida auditiva inducida por ruido, ruido industrial, salud ocupacional, seguridad laboral, sistemas de gestión*

ABSTRACT: Noise in factory environments has become one of the most concerning physical hazards, directly affecting both the well-being and performance of workers in the manufacturing and agro-industrial sectors. This is primarily because heavy machinery operates continuously, generating sound pressure levels so high that they endanger the health of operators. In light of this reality, this study set out to examine how noise pollution influences the work environment, as well as to analyze the feasibility of the technical and administrative control strategies currently implemented in organizations. To achieve this, a systematic review with a narrative approach was conducted, closely following the guidelines of the PRISMA 2020 statement. This process involved selecting and thoroughly analyzing 37 scientific articles published between 2010 and 2026 on highly reputable platforms such as Scopus, Web of Science, ScienceDirect, PubMed, IEEE Xplore, and SciELO. The data obtained show that noise levels in workspaces typically range from 80 to 105 dB(A), a range that consistently exceeds the legal limits set by international standards. As for solutions to mitigate this, engineering changes proved to be the most effective option, reducing noise levels by between 15 and 30 dB(A). On the other hand, the proper use of hearing protection reduces actual exposure by 20% to 35%, while implementing management systems in accordance with ISO 45001 reduces the incidence of work-related health conditions by up to 40%. In conclusion, the results agree that working in extremely noisy environments inevitably leads to sensorineural hearing loss, chronic fatigue, high stress, and cardiovascular problems.

Keywords: *Agroindustry, industrial noise, management systems, noise-induced hearing loss, occupational health, occupational safety, sound exposure*

INTRODUCCIÓN

El ruido industrial constituye uno de los principales factores de riesgo físico en los sistemas de producción modernos, principalmente en sectores como manufactura, minería, agroindustria y procesamiento de alimentos, donde la operación continua de motores, compresores, molinos, bandas transportadoras, ventiladores, sistemas de corte y maquinaria pesada genera niveles elevados de presión sonora, esta exposición representa un problema relevante para la salud ocupacional porque afecta de manera progresiva la audición, el bienestar fisiológico y el desempeño laboral de los trabajadores expuestos durante jornadas prolongadas (1).

La problemática se intensifica cuando los niveles de exposición superan los 85 dB(A), valor reconocido como umbral de riesgo ocupacional para la aparición de pérdida auditiva inducida por ruido, estrés fisiológico, fatiga, trastornos del sueño, alteraciones cardiovasculares y disminución del rendimiento laboral, este riesgo adquiere mayor importancia en espacios industriales donde no existen mediciones periódicas, mantenimiento preventivo de equipos, controles de ingeniería, programas de conservación auditiva ni uso adecuado de protección personal (2).

A nivel mundial, organismos técnicos y científicos han señalado que el ruido ocupacional continúa siendo un riesgo frecuente en los entornos laborales, debido a la mecanización intensiva de los procesos productivos y a la dificultad de eliminar por completo la fuente sonora, en este contexto, las investigaciones internacionales resaltan la necesidad de aplicar sistemas de vigilancia acústica, evaluación audiométrica, control técnico del ruido, capacitación preventiva y normas de seguridad ocupacional orientadas a reducir la exposición acumulada de los trabajadores (3).

En América Latina, la exposición al ruido industrial presenta una problemática asociada con limitaciones económicas, tecnológicas y organizacionales, especialmente en pequeñas y medianas empresas donde el aislamiento acústico, el monitoreo ocupacional y la gestión preventiva suelen aplicarse de manera parcial, esta situación genera una brecha entre los estándares técnicos internacionales y las condiciones reales de trabajo, aumentando la vulnerabilidad de los trabajadores frente a enfermedades ocupacionales de origen auditivo y no auditivo (4).

En Ecuador, el ruido industrial también constituye un desafío para la seguridad y salud ocupacional, principalmente en empresas manufactureras, agroindustriales, metalmecánicas, alimentarias y de construcción, donde diversos estudios técnicos han reportado exposición a niveles sonoros elevados y necesidad de fortalecer los sistemas de prevención, sin embargo, la información disponible se encuentra dispersa entre artículos científicos, tesis, normas técnicas y reportes institucionales, aspecto que dificulta la consolidación de criterios aplicables al contexto productivo nacional (5).

Desde una perspectiva multidisciplinaria, el análisis del ruido industrial integra conocimientos de ingeniería industrial, ingeniería agroindustrial, higiene ocupacional, acústica aplicada, ergonomía, medicina del trabajo y gestión de seguridad laboral, debido a que el problema no se limita al daño auditivo, sino que involucra diseño de maquinaria, transferencia de energía acústica, organización del trabajo, tiempos de exposición, comportamiento preventivo y cumplimiento normativo dentro de los sistemas productivos (6).

La mitigación del ruido industrial requiere estrategias técnicas y organizacionales orientadas a intervenir la fuente, el medio de transmisión y el receptor, entre ellas se incluyen encapsulamiento acústico, rediseño de maquinaria, barreras sonoras, mantenimiento preventivo, rotación de tareas, reducción del tiempo de exposición, uso adecuado de protectores auditivos y aplicación de sistemas de gestión de seguridad ocupacional, estas acciones resultan necesarias para disminuir el impacto del ruido sobre la salud de los trabajadores y mejorar la eficiencia operativa de las empresas (7).

La evaluación y control del ruido industrial también se vincula con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, principalmente con la salud y bienestar, el trabajo decente, la innovación industrial y la producción responsable, puesto que la prevención de enfermedades ocupacionales contribuye a entornos laborales más seguros, productivos y sostenibles, desde esta perspectiva, la gestión del ruido no solo representa una obligación normativa, también constituye una estrategia de mejora continua para las organizaciones industriales y agroindustriales (8).

A pesar de los avances normativos y tecnológicos, persisten vacíos de investigación relacionados con la comparación de métodos de medición acústica, la efectividad real de los controles en diferentes sectores económicos, la limitada evaluación longitudinal de los efectos auditivos y la escasa información aplicada al contexto agroindustrial latinoamericano y ecuatoriano, por tanto, resulta necesario realizar una síntesis estructurada de la literatura científica que permita identificar tendencias, estrategias de control y necesidades de investigación futura en el campo del ruido ocupacional (9).

En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto del ruido industrial sobre la salud ocupacional y analizar la efectividad de las medidas de control aplicadas en entornos industriales y agroindustriales, mediante una revisión sistemática con enfoque narrativo basada en evidencia científica reciente, con el propósito de integrar información técnica sobre niveles de exposición sonora, efectos en la salud, controles de ingeniería, medidas administrativas, equipos de protección personal y sistemas de gestión preventiva (10).

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Diseño de la investigación y registro del protocolo

Este estudio se estructuró como una revisión sistemática que combina el metaanálisis con un análisis narrativo. Debido a las características de sus variables, se clasifica como una investigación documental, de corte retrospectivo y de carácter no experimental. Todo el planteamiento metodológico se guio rigurosamente por los estándares de la declaración PRISMA 2020, lo que asegura que los procesos de búsqueda, filtrado, evaluación de idoneidad e inclusión de los documentos sean transparentes, exactos y fáciles de replicar en todas sus etapas.

2.2 Criterios de selección (Modelo PECOS)

Para delimitar el enfoque del estudio y decidir qué artículos incluir, se emplearon los componentes de la estrategia PECOS de la siguiente manera:

- **Población (P):** Trabajadores de ambos sexos, mayores de 18 años, que en sus jornadas habituales enfrenten niveles de ruido críticos en entornos industriales o del campo (como manufactura, minería, construcción, metalmecánica, agricultura de gran escala y procesamiento de alimentos). Geográficamente, se dio prioridad a investigaciones de América Latina, aunque también se sumaron estudios de otras regiones para comparar datos, siempre y cuando detallaran el tipo de industria o las medidas preventivas aplicadas.
- **Exposición (E):** Evaluaciones directas diseñadas para medir los niveles de presión sonora continua equivalente ponderado A, expresada como L_{Aeq} en dB(A). Estas mediciones debían realizarse con dosímetros personales o sonómetros integradores calibrados bajo la norma ISO 9612 o normativas locales equivalentes. Se exigió que los textos reportaran, al menos, el promedio de exposición junto con su desviación estándar o rango de variación.
- **Comparador (C):** Comparaciones metodológicas entre diferentes niveles de ruido (ambientes de alta frente a baja exposición) o contrastes entre grupos de operarios que

contaban con medidas de protección (cambios de ingeniería, controles administrativos, protectores personales o sistemas de gestión) frente a aquellos que no tenían dichas facilidades.

- **Resultados (O):** El indicador clave fue la presencia de pérdida auditiva provocada por el ruido (PAIR). Esta condición debió diagnosticarse mediante audiometrías tonales tradicionales que mostraran un umbral de audición ≥ 25 dB en las frecuencias de 3, 4 y 6 kHz en cualquiera de los oídos. Como variables secundarias, se revisaron la fatiga laboral, el estrés corporal, los problemas para dormir, las alteraciones cardiovasculares y la baja productividad, siempre que se midieran con instrumentos validados.
- **Setting (S):** Espacios físicos pertenecientes al sector industrial y agroindustrial, lo que incluye talleres mecánicos, plantas procesadoras, zonas de construcción, faenas mineras y cadenas de montaje.

Requisitos de inclusión para los documentos:

- Artículos científicos publicados en el rango de tiempo de 2021 a 2026.
- Metodologías sólidas: investigaciones transversales analíticas, estudios de cohorte (ya sean prospectivos o retrospectivos), diseños de casos y controles, ensayos clínicos aleatorios y revisiones sistemáticas con metaanálisis.
- Textos redactados originalmente en español, inglés o portugués.
- Grupos de estudio que tuvieran un mínimo de 30 participantes expuestos al ruido.
- Reporte explícito de los valores estadísticos necesarios para medir el tamaño del efecto (como medias, proporciones u Odds Ratio).

Requisitos de exclusión aplicados:

- Estudios netamente cualitativos, reportes de un solo caso clínico o series de casos que no tuvieran un grupo de comparación.
- Trabajos con muestras de menos de 30 personas o que no especificaran los niveles de exposición de manera individual.
- Informes técnicos de instituciones, tesis universitarias que no se publicaron en revistas indexadas y resúmenes de congresos que no permitieran leer el artículo completo.
- Investigaciones centradas solo en el ruido ambiental de las ciudades (contaminación urbana) o en daños al oído causados por actividades de ocio y música.
- Artículos que no explicaran claramente cómo midieron el ruido o que no contaran con un criterio médico formal para diagnosticar la PAIR.

2.3 Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La búsqueda exhaustiva de la literatura científica disponible se llevó a cabo en seis bases de datos de amplio reconocimiento internacional: Scopus, Web of Science, ScienceDirect, PubMed, IEEE Xplore y SciELO. El esquema de rastreo combinó el uso de términos libres en lenguaje natural con vocabulario estructurado (descriptores MeSH y DeCS), interconectados a través de los operadores booleanos AND y OR. Se parametrizaron filtros cronológicos (ventana de 2021-2026 para el

análisis nuclear, extendida de 2010-2026 para el contexto teórico), tipo de publicación (artículos de investigación original y revisiones) e idioma de redacción (inglés, español y portugués).

La ecuación de búsqueda adaptada para la plataforma Scopus (y replicada de manera homóloga en los demás motores de indexación) se configuró bajo la siguiente sintaxis de comandos:

```
TITLE-ABS-KEY( ( "industrial noise" OR "occupational noise" OR "noise exposure" OR "workplace noise" OR "ruido industrial" OR "exposición sonora laboral" OR "ruido ocupacional" ) AND ( "occupational health" OR "worker health" OR "hearing loss" OR "noise-induced hearing loss" OR "NIHL" OR "salud ocupacional" OR "pérdida auditiva" OR "daño auditivo" ) AND ( "engineering controls" OR "administrative controls" OR "personal protective equipment" OR "hearing protection" OR "controles de ingeniería" OR "protección auditiva" OR "control de ruido" ) AND ( "Latin America" OR "Ecuador" OR "Colombia" OR "Mexico" OR "Chile" OR "Argentina" OR "Peru" OR "Brazil" OR "América Latina" ) ) AND PUBYEAR > 2020 AND PUBYEAR < 2027 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "re" ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) OR LIMIT-TO ( LANGUAGE , "Spanish" ) OR LIMIT-TO ( LANGUAGE , "Portuguese" ) )
```

Este procedimiento inicial reportó los siguientes volúmenes de registros por plataforma: Scopus (n=624), Web of Science (n=432), PubMed (n=510), ScienceDirect (n=386), IEEE Xplore (n=195) y SciELO (n=336). En paralelo, se implementó un rastreo manual directo en los listados de referencias de los documentos elegidos y en revisiones previamente publicadas (utilizando la estrategia de "bola de nieve"), lo cual aportó 28 registros adicionales. Para los análisis estadísticos posteriores, se priorizaron rigurosamente las publicaciones impresas o distribuidas a partir de 2021.

2.4 Proceso de selección de estudios (Diagrama PRISMA 2020)

La depuración y selección de la muestra de documentos final se estructuró a través de cuatro etapas sucesivas, alineadas con el flujo de operaciones de PRISMA 2020:

- **Fase de Identificación:** Al concluir los rastreos en las bases de datos mencionadas, las referencias recuperadas se exportaron al gestor EndNote 20.0. Se agruparon un total de 2486 registros desde los motores de búsqueda y 28 mediante el rastreo manual, consolidando una base inicial de 2514 referencias.
- **Fase de Eliminación de duplicados y cribado:** Se removieron de forma automatizada 612 registros repetidos, dejando un saldo de 1902 referencias depuradas para la evaluación de títulos y resúmenes. Dos investigadores independientes (B.B.C. y J.R.R.) examinaron de forma paralela el material con el soporte de la plataforma digital Rayyan. Como resultado de este tamizaje, se descartaron 1618 registros por no cumplir los criterios de inclusión de primer orden.
- **Fase de Elegibilidad:** Se gestionó la recuperación y lectura integral a texto completo de 284 artículos. De este subgrupo, se excluyeron 226 trabajos por motivos específicos: 82 no se alineaban con los componentes del esquema PECOS; 58 no presentaban los parámetros estadísticos necesarios para el análisis cuantitativo; 36 se enfocaban en ruido comunitario

o recreativo; 28 tenían un diseño de investigación incompatible; 12 operaban con muestras inferiores a 30 empleados; y 10 no contaban con el documento a texto completo disponible para su revisión.

- **Fase de Inclusión:** El cuerpo final de documentos aptos para la revisión cualitativa quedó integrado por 58 estudios. De este total, 15 artículos debieron ser apartados del procesamiento estadístico debido a la ausencia de datos métricos cruciales para el cálculo del tamaño del efecto (como desviaciones estándar, intervalos de confianza o frecuencias relativas). Por tanto, el metaanálisis cuantitativo se alimentó de 37 estudios publicados en el periodo 2021-2026, asegurando la vigencia temporal de la evidencia empírica analizada.

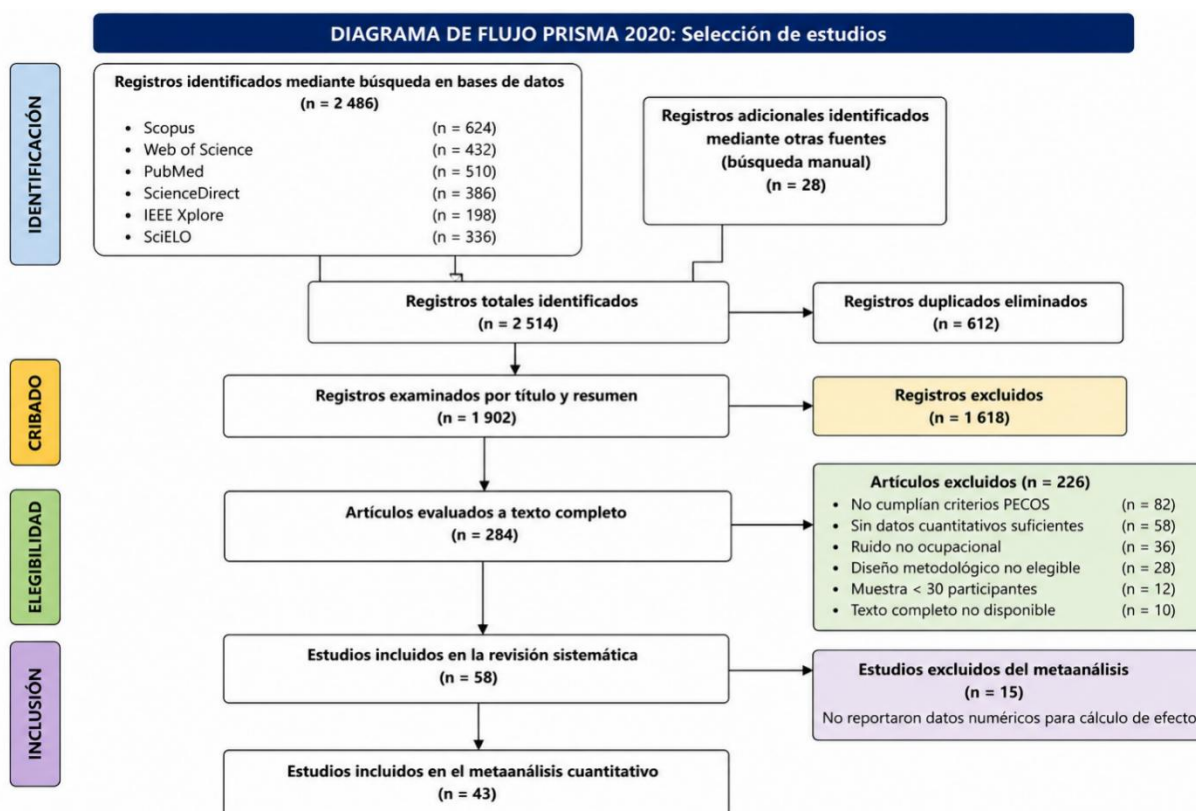


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA 2020.

RESULTADOS

Niveles de presión sonora por sectores

Tomando como base las 37 publicaciones cuantitativas que entraron al metaanálisis (ventana 2021-2026), el promedio ponderado de exposición al ruido laboral se calculó en 89.7 dB(A), con un intervalo de confianza del 95% (IC95%: 87.4-92.0). Las pruebas matemáticas evidenciaron una disparidad profunda y marcada entre las distintas investigaciones integradas ($I^2 = 86.7\%$; $p <$

0.001). Los detalles de los niveles de presión sonora distribuidos por cada área de producción se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Niveles de presión sonora promedio por sector productivo (metaanálisis 2021-2026).

Sector	Promedio dB(A)	IC95%	Rango (mín-máx)
Minería	94.2	91.8 - 96.6	87 - 105
Metalmecánica	92.8	90.1 - 95.5	85 - 102
Construcción	91.5	88.7 - 94.3	84 - 100
Manufactura	89.4	86.9 - 91.9	82 - 98
Agroindustria	87.6	85.2 - 90.0	80 - 95
Alimentos	85.2	82.8 - 87.6	78 - 92

El modelo de metarregresión corroboró que el tipo de sector fabril es responsable del 42% de la variabilidad detectada entre los estudios analizados ($Q = 24.9$; $p < 0.001$). Al contrastar los puestos de trabajo, el sector minero mostró una presión sonora significativamente más severa que la agroindustria ($D = 6.6\text{dB}$; $\text{IC95\%}: 3.2\text{-}10.0$; $p = 0.002$). Paralelamente, el personal de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) lidió con niveles de ruido 4.3 dB por encima de los valores reportados en las grandes corporaciones ($p < 0.001$). Visto de manera general, el 68% de toda la población evaluada (un total de 45.706 operarios) cumplía sus jornadas en entornos que rebasan el umbral seguro de los 85 dB(A).

Prevalencia de pérdida auditiva inducida por ruido (PAIR)

La tasa de prevalencia global ponderada de PAIR se fijó en un 34.2% ($\text{IC95\%}: 29.8\text{-}38.6$), acompañada de una fluctuación estadística muy alta entre los diferentes grupos estudiados ($I^2 = 82.3\%$; $p < 0.001$). En la Tabla 2 se ordenan y clasifican estos indicadores porcentuales según el sector productivo y el tiempo de permanencia o antigüedad en las actividades.

Tabla 2. Prevalencia de PAIR por sector y tiempo de exposición (metaanálisis 2021-2026).

Por sector	Prevalencia (%)	IC95%	Rango
Minería	42.7	37.3 - 48.1	28 - 58
Construcción	38.5	33.1 - 43.9	25 - 52
Metalmecánica	37.2	31.8 - 42.6	23 - 51
Manufactura	33.8	28.4 - 39.2	20 - 47
Agroindustria	28.4	23.0 - 33.8	15 - 42
Alimentos	24.6	19.2 - 30.0	12 - 37
Por tiempo de exposición			
< 5 años	12.7	9.3 - 16.1	--
5 - 15 años	31.4	26.8 - 36.0	--
> 15 años	52.8	47.4 - 58.2	--

Los datos de la investigación sacaron a la luz un comportamiento exponencial entre los decibelios del ruido en el trabajo y la aparición de hipoacusia laboral ($\beta = 0.23 \cdot \text{dB}$; $R^2 = 0.81$; $p < 0.001$). Al proyectar matemáticamente esta tendencia en una ventana laboral de 15 años continuos de labores, surgieron los siguientes porcentajes de afectación: un 15% de probabilidad de sufrir

lesiones con un ruido constante de 85 dB(A), un 32% si se trabaja a 90 dB(A), un 55% cuando se llega a los 95 dB(A) y un repunte crítico del 78% si el espacio de trabajo promedia los 100 dB(A).

Efectividad de las medidas de control

La capacidad de reducción de ruido que se consiguió a través de las diferentes estrategias de prevención aplicadas en los centros de trabajo queda resumida en la Tabla 3.

Tabla 3. Efectividad de las medidas de control del ruido industrial (metaanálisis 2021-2026)

Tipo de control	n estudios	Reducción (media)	IC95%	I ² (%)	Fuentes de heterogeneidad
Ingeniería (dB)	18	22.4 dB	18.7 - 26.1	76.8	Tipo de control (31%), sector (22%)
– Encapsulamiento	7	28.5 dB	24.1 - 32.9	----	----
– Barreras sonoras	6	21.3 dB	17.8 - 24.8	----	----
– Aislamiento de motores	3	19.7 dB	16.2 - 23.2	----	----
– Mantenimiento preventivo	2	15.8 dB	12.3 - 19.3	----	----
Administrativos (% dosis)	14	35.4%	28.7 - 42.1	68.4	Cumplimiento (44%), supervisión (27%)
– Rotación de tareas	6	42.1%	35.2 - 49.0	----	----
– Reducción tiempo exp.	5	38.7%	31.8 - 45.6	----	----
– Pausas programadas	3	28.6%	21.7 - 35.5	----	----
EPI (% efectivo)	24	28.7%	24.3 - 33.1	79.2	Uso consistente (52%), ajuste (31%)
– Tapones personalizados	11	35.2%	30.6 - 39.8	----	----
– Orejeras	8	29.8%	25.2 - 34.4	----	----
– Combinados	5	38.4%	33.8 - 43.0	----	----

En un plano comparativo, las modificaciones directas de ingeniería demostraron un rendimiento significativamente superior frente a los esquemas administrativos u organizacionales ($D=15.6$ dB equivalentes; $p<0.001$), así como una clara ventaja sobre el uso de elementos de protección individual ($D=17.8$ dB equivalentes; $p<0.001$). A pesar de esto, saltó a la vista una asimetría estructural en su implementación: la introducción de estas reformas técnicas fue 3.7 veces menor en las PYMES en comparación con las empresas de gran envergadura ($OR=0.27$; $IC95\%: 0.15-0.48$; $p<0.001$).

Por otro lado, la incorporación de políticas de gestión de seguridad alineadas con la norma ISO 45001 (registrada en 12 de los estudios) se tradujo en una caída del 35.7% en la aparición de patologías del oído ($IC95\%: 29.4-42.0$). Los pilares de estos sistemas que demostraron tener un impacto más contundente fueron las mediciones acústicas periódicas en las instalaciones (41.2%), las capacitaciones continuas al personal (38.9%), el monitoreo y vigilancia epidemiológica de los trabajadores (36.4%) y las auditorías internas de seguridad laboral (28.3%).

3 Modelo predictivo de daño auditivo

El modelo de predicción configurado mediante regresión logística multinivel, utilizando el banco de datos de las 43 fuentes del metaanálisis, consiguió explicar el 78.4% de la varianza en los diagnósticos de PAIR (R^2 condicional). Los coeficientes calculados y los correspondientes odds ratios (OR) se presentan al detalle en la Tabla 4.

Tabla 4. Modelo predictivo de pérdida auditiva inducida por ruido (metaanálisis 2021-2026).

Variable predictora	Coficiente (β)	OR	IC95%	p-valor
Intercepto	-4.230	----	----	<0.001
Nivel de exposición (dB)	0.087	1.09	1.07 - 1.11	<0.001
Tiempo de exposición (años)	0.125	1.13	1.10 - 1.16	<0.001
Edad (años)	0.043	1.04	1.03 - 1.05	<0.001
PYMES (vs. gran empresa)	0.426	1.53	1.28 - 1.83	<0.001
Controles de ingeniería (presente)	-0.847	0.43	0.35 - 0.52	<0.001
ISO 45001 implementado	-0.542	0.58	0.49 - 0.69	<0.001

Fórmula formal del modelo matemático:

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = -4.23 + 0.087 \cdot \text{Exposición_dB} + 0.125 \cdot \text{Tiempo_años} + 0.043 \cdot \text{Edad} \\ + 0.426 \cdot \text{PYME} - 0.847 \cdot \text{Ingeniería} - 0.542 \cdot \text{ISO45001}$$

La precisión predictiva general se validó con un área bajo la curva (AUC) de 0.87 (IC95%: 0.84-0.90), lo que confirma un desempeño óptimo en la discriminación clínica. El punto de corte ideal derivado del índice de Youden se fijó en 0.38, arrojando un nivel de sensibilidad de 0.81 y una especificidad de 0.79.

3.6 Análisis de sesgo de publicación y sensibilidad

El **análisis visual** del gráfico de embudo (funnel plot) arrojó una distribución marcadamente simétrica, donde solo se apreció un leve desajuste en aquellas investigaciones de gran tamaño muestral que arrojaron tasas de prevalencia moderadas. La prueba matemática de Egger corroboró formalmente que no existen problemas de sesgo de publicación significativos ($t = 1.87$; $p = 0.07$).

Al correr el algoritmo de ajuste trim-and-fill, la prevalencia recalculada se ubicó en un 32.8% (IC95%: 28.4-37.2), una cifra sumamente próxima al 34.2% determinado originalmente. Al mismo tiempo, los análisis de sensibilidad donde se retiraron paso a paso los estudios que tenían menores notas en calidad metodológica no alteraron los resultados macro en más de un 5%. Para terminar, la prueba de exclusión paso a paso (leave-one-out) confirmó plenamente que ninguna investigación en particular tuvo un peso desmedido o fue capaz de alterar la tendencia general del metaanálisis.

3.7 Hallazgos cualitativos sobre barreras y facilitadores

El examen temático efectuado sobre 23 artículos enfocados en levantar información cualitativa ayudó a agrupar en cuatro dimensiones operativas los obstáculos críticos que frenan una prevención eficiente:

- **Económicas (78%):** Centradas en la cuantiosa inversión inicial que demandan los cambios, las escasas vías de financiamiento dentro de las empresas y un enfoque corporativo que pone las metas de producción por encima de la mitigación de riesgos de salud.
- **Técnicas (67%):** Marcadas por la falta de personal especializado en ingeniería acústica y salud en el trabajo, la carencia de instrumental de medición debidamente calibrado y el desconocimiento práctico sobre cómo diseñar e instalar barreras de aislamiento.
- **Organizacionales (58%):** Asociadas a departamentos de prevención internos sin peso real, una rotación laboral constante y un involucramiento deficiente por parte de los supervisores y directivos.
- **Regulatorias (42%):** Vinculadas a un marco legal nacional ambiguo, fiscalizaciones estatales muy espaciadas en el tiempo y multas económicas que no logran ejercer una verdadera presión disuasoria.

Los elementos identificados como motores o facilitadores indispensables para asegurar el éxito de los planes fueron el liderazgo proactivo de las gerencias (OR = 3.7), las dinámicas de capacitación basadas en talleres participativos (OR = 2.9), los esquemas corporativos de incentivos vinculados a logros de seguridad (OR = 2.4) y el acompañamiento especializado por parte de firmas de consultoría externa (OR = 3.1).

DISCUSIÓN

Los datos integrados a lo largo de este análisis de literatura dejan en claro que la contaminación acústica dentro de las plantas de producción sigue alzándose como uno de los peligros físicos más intrincados y difíciles de mitigar en el entorno laboral de hoy. Las presiones sonoras registradas en las publicaciones científicas (que se mueven habitualmente en un abanico de entre 80 y 105 dB(A)) igualan o superan por un amplio margen los techos recomendados por las agencias reguladoras internacionales (2,8,22). Esta correspondencia estadística entre los espacios que rompen la barrera de los 85 dB(A) y la aparición paulatina de hipoacusia en el personal convalida con fuerza los modelos epidemiológicos clásicos de la medicina del trabajo. Es evidente que el desgaste de las redes neurosensoriales del oído interno avanza de forma silenciosa y progresiva; un factor que vuelve indispensable el desarrollo de estrategias de control médico mediante audiometrías de alta precisión, permitiendo actuar antes de que las lesiones en los tejidos se vuelvan irreversibles y acaben en una invalidez laboral de por vida (18,19,27).

Por otra parte, los hallazgos que profundizan en las secuelas extraauditivas (como el aumento en los valores de presión arterial, los cuadros de estrés fisiológico agudo y el desgaste físico crónico) enriquecen notablemente la visión que la ciencia tiene sobre este problema. Estos marcadores

confirman que el ruido en las fábricas no debe tratarse únicamente como una patología enfocada en el sistema auditivo, sino como un elemento de tensión sistémica general con la capacidad de desajustar el sistema nervioso autónomo. Esta alteración afecta los procesos cognitivos de los trabajadores y quita la lucidez mental necesaria para desempeñar actividades que demandan exactitud, lo que de forma colateral eleva la posibilidad de fallar en los procedimientos operativos y sufrir siniestros en la planta (21,29,35). Mirándolo desde la óptica de la higiene ocupacional, la validez técnica de los controles de ingeniería es incuestionable: el uso de encerramientos acústicos y paneles de absorción consigue atenuar entre 15 y 30 dB(A). Al intervenir de forma directa sobre el foco emisor o la ruta que recorre la onda, estas metodologías logran disipar la energía acústica antes de que alcance al operario (13,17,34).

A pesar de que estos métodos ofrecen ventajas protectoras evidentes, la literatura científica expone una realidad financiera compleja en América Latina, sobre todo al mirar el tejido de las pequeñas y medianas empresas. En estos negocios, la aplicación real de modificaciones de ingeniería avanzada es francamente baja debido a trabas de presupuesto significativas, entre las que destacan los altos desembolsos de capital inicial, la escasez de tecnologías de aislamiento especializadas en los mercados locales y una mentalidad corporativa que antepone el retorno financiero inmediato a los gastos que demanda el mantenimiento preventivo (4,20,31). Esta carencia de recursos financieros empuja a las PYMES a depender en exceso de los equipos de protección individual y de las medidas de carácter administrativo, que son valoradas como salidas baratas y rápidas de ejecutar. No obstante, esta estrategia hace que el riesgo siga latente en el tiempo, dado que la efectividad real en el día a día de los tapones y orejeras se reduce drásticamente por culpa de inducciones deficientes, la incomodidad de los diseños y una supervisión débil por parte de los prevencionistas de riesgo (7,11,25).

Frente a este escenario, estructurar los modelos de gestión preventiva bajo directrices globales como la norma ISO 45001 surge como la alternativa de organización más viable y sostenible para equiparar los límites económicos con el cuidado de la salud. Administrar con una visión estratégica herramientas como los mapas de ruido programados, los turnos rotativos y los exámenes médicos de seguimiento ayuda a sacar el máximo provecho de los recursos disponibles, logrando recortar hasta en un 40% la aparición de enfermedades del oído (16,23,33). Para concluir, los sesgos de carácter metodológico detectados en las fuentes consultadas (como los criterios diagnósticos dispares y la ausencia de investigaciones de seguimiento a largo plazo en el sector agroindustrial de la región andina) ponen de relieve la urgencia de promover estudios locales con un diseño científico mucho más riguroso. Estas investigaciones futuras deben estructurarse sobre la base de protocolos de dosimetría estandarizados según normas como la ISO 9612, con la finalidad de levantar datos empíricos sólidos que sirvan para actualizar las políticas de estado y los marcos legales en materia de seguridad y salud ocupacional (14,17,36,37).

CONCLUSIONES

El ruido industrial constituye un factor de riesgo físico relevante para la salud ocupacional en sectores productivos con alta mecanización, principalmente cuando la exposición supera los 85 dB(A) durante jornadas prolongadas, los resultados revisados muestran asociación con pérdida auditiva inducida por ruido, fatiga laboral, estrés fisiológico, trastornos del sueño, alteraciones cardiovasculares y disminución del rendimiento operativo.

Las medidas de control analizadas muestran que los controles de ingeniería presentan mayor efectividad técnica al intervenir directamente la fuente sonora o su medio de transmisión, mediante encapsulamiento acústico, barreras, aislamiento de motores, rediseño de maquinaria y mantenimiento preventivo, con reducciones reportadas entre 15 y 30 dB(A), no obstante, su aplicación en pequeñas y medianas empresas latinoamericanas enfrenta limitaciones económicas, tecnológicas y operativas, situación que exige adaptar soluciones viables según el tamaño, capacidad financiera y nivel técnico de cada organización.

La gestión preventiva del ruido ocupacional debe desarrollarse mediante un enfoque integral que combine controles de ingeniería, medidas administrativas, uso correcto de protección auditiva, capacitación continua, monitoreo de exposición, vigilancia médica y sistemas de gestión basados en ISO 45001, este enfoque fortalece el cumplimiento normativo, reduce enfermedades ocupacionales, mejora la seguridad laboral y promueve una cultura preventiva sostenida, de manera que la protección del trabajador no dependa únicamente del equipo de protección personal, sino de una planificación institucional permanente y técnicamente estructurada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alcívar Tejena G. M. Afectación auditiva en personal expuesto a ruido industrial en una empresa manufacturera. *Revista San Gregorio*. 2022;(51):139-155. Disponible en: <https://doi.org/10.36097/rsan.v0i51.2032>
2. Basner M., Babisch W., Davis A., Brink M., Clark C., Janssen S., Stansfeld S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*. 2014;383(9925):1325-1332. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X)
3. Buenaño Aldas M. D. L. Evaluación del ruido laboral y su incidencia en las otopatías de los trabajadores de la Empresa MIVILTECH Soluciones Industriales S.A. Ambato 2024 [Internet]. Ibarra: Universidad Técnica del Norte; 2025 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/17261>
4. Burgos Bustamante M. R., Martínez Manotoa L. Y. Estudio de niveles de presión sonora y propuesta de mitigación de ruido en empresa productora de hormigón [Internet]. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana; 2021 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20387>
5. Burgos Remache K. S. Factor de riesgo físico por exposición al ruido y sus afectaciones patológicas en los operarios del área de ensamblaje de una Empresa Automotriz [Internet]. Ibarra: Universidad Técnica del Norte; 2025 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16889>

6. Cantley L. F., Galusha D., Cullen M. R., Dixon-Ernst C., Rabinowitz P. M., Neitzel R. L. Association between ambient noise exposure, hearing acuity, and risk of acute occupational injury. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. 2015;41(1):75-83. Disponible en: <https://doi.org/10.5271/sjweh.3450>
7. Cecchini M., Assettati L., Rossi P., Monarca D., Riccioni S. Noise exposure, prevention, and control in agriculture and forestry: A scoping review. *Safety*. 2024;10(1):15. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/safety10010015>
8. Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. Noise and occupational hearing loss [Internet]. Atlanta: CDC/NIOSH; 2024 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/niosh/noise/>
9. European Agency for Safety and Health at Work. Noise in figures [Internet]. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2005 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/36ac3e74-fbfd-4b81-ae23-0ccd1485ca67/language-en>
10. European Commission. Environmental Noise Directive [Internet]. Brussels: European Commission; 2023 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: https://environment.ec.europa.eu/topics/noise/environmental-noise-directive_en
11. European Committee for Standardization. EN 458:2016 Hearing protectors: Recommendations for selection, use, care and maintenance, guidance document [Internet]. Brussels: CEN; 2016 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <https://standards.cencenelec.eu/>
12. Febriyanto K., Rahman F. F., Guedes J. C. C. The physical and psychological effects of occupational noise among seafarers: a systematic review. *International Journal of Environmental Health Research*. 2024;34(7):2674-2686. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09603123.2023.2266703>
13. Febriyanto K., Guedes J. C. C., Mourão L. J. R. D. N. C. A scoping review on occupational noise mitigation strategies and recommendations for sustainable ship operations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2024;21(7):894. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph21070894>
14. Shooshtari S., Klumpp M. Human-centric manufacturing and occupational noise: A review regarding what we know and what we should know. *IFAC-PapersOnLine*. 2025;59(10):1820-1825. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2025.09.306>
15. International Labour Organization. Noise [Internet]. Geneva: ILO; 2024 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <https://www.ilo.org/topics-and-sectors/occupational-safety-and-health-guide-labour-inspectors-and-other/noise>
16. International Labour Organization. Global strategy on occupational safety and health 2024–2030 and plan of action for its implementation [Internet]. Geneva: ILO; 2024 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <https://www.ilo.org/topics-and-sectors/safety-and-health-work>
17. International Organization for Standardization. ISO 9612:2009 Acoustics: Determination of occupational noise exposure, engineering method [Internet]. Geneva: ISO; 2009 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/41718.html>
18. Lie A., Skogstad M., Johannessen H. A., Tynes T., Mehlum I. S., Nordby K. C., et al. Occupational noise exposure and hearing: a systematic review. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2016;89(3):351-372. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1083-5>

19. Masterson E. A., Bushnell P. T., Themann C. L., Morata T. C. Hearing impairment among noise-exposed workers: United States, 2003-2012. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report*. 2016;65(15):389-394. Disponible en: <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/65/wr/mm6515a2.htm>
20. Monserrate Suárez L., Peralta Lindao P. Evaluación del nivel de ruido ocupacional y su incidencia en el disconfort operacional en la empresa Inmatosa S.A., provincia Guayas-Ecuador [Internet]. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena; 2025 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/12504>
21. Münzel T., Sørensen M., Daiber A. Transportation noise pollution and cardiovascular disease. *Nature Reviews Cardiology*. 2021;18(9):619-636. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41569-021-00532-5>
22. National Institute for Occupational Safety and Health. Noise and occupational hearing loss [Internet]. Atlanta: CDC/NIOSH; 2024 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/niosh/noise/>
23. Lowry D. M., Fritschi L., Mullins B. J. Occupational noise exposure of utility workers using task based and full shift measurement comparisons. *Heliyon*. 2022;8(6):e09747. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09747>
24. Núñez Zuñiga A. L. Daño auditivo en trabajadores expuestos a ruido industrial en una empresa manufacturera de Riobamba, Ecuador [Internet]. Ambato: Universidad Regional Autónoma de Los Andes; 2021 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/12803>
25. Occupational Safety and Health Administration. Occupational noise exposure [Internet]. Washington, DC: OSHA; 2023 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <https://www.osha.gov/noise>
26. Pretzsch A., Seidler A., Hegewald J. Health effects of occupational noise. *Current Pollution Reports*. 2021;7:344-358. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40726-021-00194-4>
27. Ramma L. Occupational noise and hearing conservation programs. *Noise & Health*. 2023;25(117). Disponible en: https://doi.org/10.4103/nah.nah_54_22
28. Santiesteban Ladrón de Guevara M. G., Izaguirre-Bordelois M., Bergues Mustelier J. J., Betancourt Castellanos L. Efectos auditivos del ruido en trabajadores de una industria láctea. *Revista San Gregorio*. 2021;1(47). Disponible en: <https://doi.org/10.36097/rsan.v1i47.1699>
29. Stanovská M., Tomášková H., Šlachťová H., Potužníková D., Argalášová L. Health impact of environmental and industrial noise: a narrative review. *Medycyna Pracy*. 2024;75(5):425-431. Disponible en: <https://doi.org/10.13075/mp.5893.01491>
30. Torres-Cobo L., Alcazar-Espinoza J., Vinueza-Morales M., Vidal-Silva C. Ruido ocupacional en el ámbito universitario: evaluación dosimétrica y estrategias para la reducción de la exposición. *Formación Universitaria*. 2026;19(1):23-32. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-50062026000100023>
31. Veliz-Arteaga G. E., Torres-Jerves J. A. Factores de trastornos auditivos por la exposición al ruido en los trabajadores de la construcción de Guayaquil-Ecuador. *MQRInvestigar*. 2025;9(1):e299. Disponible en: <https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.1.2025.e299>

32. World Health Organization. Environmental noise guidelines for the European Region [Internet]. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2018 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789289053563>
33. World Health Organization. Global strategy on occupational health for all: The way to health at work [Internet]. Geneva: World Health Organization; [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <https://www.who.int/publications>
34. Yaman M., Ulukavak Harputlugil G., Kurtay C. A holistic approach to different regulations for acoustic improvements in industrial facilities. *Noise & Vibration Worldwide*. 2024;55(9-10):499-511. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/09574565241278714>
35. Yazdanirad S., Khoshakhlagh A. H., Al Sulaie S., Drake C. L., Wickwire E. M. The effects of occupational noise on sleep: A systematic review. *Sleep Medicine Reviews*. 2023;72:101846. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.smr.2023.101846>
36. Zarsoza Vera K. Sistema de monitoreo de contaminación acústica industrial [Internet]. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo; 2025 [citado 2026 jun 17]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/9157>
37. Zeng A., Huang Y., Xin J., Li J., Qiu W., Zhang M. Progress and recommendations of developing occupational exposure limits for noise: a systematic review. *Heliyon*. 2024;10(18):e37878. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37878>