

Fenotipos audiométricos específicos por frecuencia en tamizaje ocupacional: alteración aislada de alta frecuencia y compromiso de frecuencias conversacionales

Víctor Juan Vera-Ponce⁽¹⁾

¹Facultad de Medicina (FAMED), Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), Chachapoyas, Amazonas, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4075-9049>

Correspondencia:

Víctor Juan Vera-Ponce

Dirección postal: Facultad de Medicina (FAMED),
Universidad Nacional Toribio Rodríguez de
Mendoza de Amazonas (UNTRM).
Calle Higos Urco N.º 342-350-356,
Chachapoyas, Amazonas, Perú

Correo electrónico: victor.vera@untrm.edu.pe

La cita de este artículo es: Víctor Juan Vera-Ponce. Fenotipos audiométricos específicos por frecuencia en tamizaje ocupacional: alteración aislada de alta frecuencia y compromiso de frecuencias conversacionales. Rev Asoc Esp Espec Med Trab 2026; 35(3):308-324

RESUMEN.

Antecedentes: La audiometría ocupacional suele resumirse como hipoacusia presente o ausente, aunque los umbrales por frecuencia permiten reconocer patrones clínicamente más informativos.

Objetivos: Caracterizar fenotipos audiométricos específicos por frecuencia en trabajadores sometidos a tamizaje ocupacional.

Material y Métodos: Estudio transversal de registros secundarios. Se incluyeron 1439 adultos con audiometría tonal aérea bilateral válida entre 500 y 6000 Hz. Se definieron tres fenotipos mutuamente excluyentes y se estimaron prevalencias y probabilidades marginales ajustadas por edad, sexo y grupo ocupacional mediante regresión multinomial.

Resultados: El 59,1% no presentó alteración, el 21,3% mostró alteración aislada de alta frecuencia y el 19,5% compromiso conversacional. La alteración de alta frecuencia, con independencia

FREQUENCY-SPECIFIC AUDIOMETRIC PHENOTYPES IN OCCUPATIONAL SCREENING: ISOLATED HIGH-FREQUENCY IMPAIRMENT AND SPEECH-FREQUENCY INVOLVEMENT

ABSTRACT

Background: Occupational audiometry is often reduced to hearing loss present or absent, although frequency-specific thresholds can identify more informative patterns.

Objectives: To characterize frequency-specific audiometric phenotypes among workers undergoing occupational screening.

Material and Methods: Cross-sectional study of secondary records. We included 1,439 adults with valid bilateral air-conduction pure-tone audiometry from 500 to 6,000 Hz. Three mutually exclusive phenotypes were defined, and prevalence estimates and marginal probabilities adjusted for age, sex, and occupational group were obtained using multinomial regression.

del compromiso conversacional, alcanzó 37,0%. El compromiso conversacional predominó a edades mayores.

Conclusiones: Los fenotipos por frecuencia identifican patrones que una clasificación binaria no capta. Los resultados son descriptivos y no demuestran causalidad ocupacional por ruido.

Palabras clave: Audiometría de Tonos Puros; Pérdida Auditiva; Pérdida Auditiva de Alta Frecuencia; Salud Laboral; Estudios Transversales.

Results: No impairment was observed in 59.1%, isolated high-frequency impairment in 21.3%, and speech-frequency involvement in 19.5%. High-frequency impairment, irrespective of speech-frequency involvement, affected 37.0%. Speech-frequency involvement predominated at older ages.

Conclusions: Frequency-specific phenotypes identify patterns not captured by a binary classification. These descriptive findings do not demonstrate occupational causation by noise.

Key words: Audiometry; Pure-Tone; Hearing Loss; Hearing Loss; High-Frequency; Occupational Health; Cross-Sectional Studies.

Fecha de recepción: 29 de abril de 2026

Fecha de aceptación: 4 de septiembre de 2026

Introducción

La pérdida auditiva es una condición frecuente y con impacto funcional, social y económico. En 2019, el Global Burden of Disease estimó que 1.57 mil millones de personas vivían con algún grado de pérdida auditiva, equivalente a aproximadamente una quinta parte de la población mundial, y proyectó un incremento sustantivo para 2050⁽¹⁾. La Organización Mundial de la Salud ha señalado que más de 430 millones de personas requieren rehabilitación por pérdida auditiva discapacitante y que la mayor carga se concentra en países de ingresos bajos y medianos, donde el acceso a detección, rehabilitación y dispositivos auditivos sigue siendo insuficiente⁽²⁾.

En adultos en edad laboral, la pérdida auditiva no es solo un problema sensorial. Puede afectar

la comunicación, la seguridad durante tareas de riesgo, la interacción social, el desempeño laboral y la necesidad de rehabilitación. La exposición a ruido intenso sigue siendo uno de los factores modificables más relevantes en el trabajo; sin embargo, la magnitud del problema no depende únicamente de la exposición sonora, sino también de edad, susceptibilidad individual, condiciones clínicas, exposición extralaboral y calidad de los programas de conservación auditiva⁽³⁾. Por ello, la evaluación audiométrica ocupacional tiene utilidad como herramienta de vigilancia, pero su interpretación exige distinguir entre patrones compatibles con daño auditivo y causalidad ocupacional demostrada.

En América Latina, la evidencia sobre alteraciones auditivas en trabajadores continúa siendo heterogénea y con frecuencia se concentra en

sectores específicos, como minería, manufactura o actividades con exposición sonora evidente. Una revisión sistemática sobre pérdida auditiva y exposición laboral a ruido en minería identificó estudios observacionales con limitaciones metodológicas relevantes y concluyó que, aunque existe asociación entre ruido ocupacional y pérdida auditiva en ese sector, la calidad y consistencia de la evidencia restringen la fuerza de las inferencias⁽⁴⁾. Un estudio transversal publicado en la Revista de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo entre 432 trabajadores del sector alimentos de Bogotá estimó una prevalencia de hipoacusia de 8,8% y describió asociaciones con variables laborales y clínicas⁽⁵⁾. En contextos locales, donde la audiometría ocupacional suele producirse como parte de evaluaciones rutinarias, persiste una oportunidad analítica poco explotada: describir los umbrales por frecuencia y por oído, en lugar de reducir toda la información a una clasificación binaria de hipoacusia.

La clasificación binaria de pérdida auditiva puede ser insuficiente cuando se dispone de audiometría tonal por frecuencia. En particular, la distinción entre alteración aislada de alta frecuencia y compromiso de frecuencias conversacionales permite separar patrones con distinta interpretación funcional. Las frecuencias altas pueden mostrar alteraciones tempranas o subclínicas, mientras que el compromiso de 500, 1000 y 2000 Hz se aproxima más a dificultades en la audición de sonidos conversacionales. Además, la bilateralidad, la asimetría interaural y los patrones notch-like aportan información adicional, siempre que no se interpreten como diagnóstico etiológico sin mediciones individuales de exposición a ruido ni audiogramas seriados.

En este contexto, el presente estudio aporta una caracterización fenotípica de audiometrías ocupacionales usando umbrales específicos por frecuencia y por oído. El objetivo fue caracterizar fenotipos audiométricos específicos por frecuencia en trabajadores evaluados mediante tamizaje ocupacional, con énfasis en

alteración aislada de alta frecuencia, compromiso de frecuencias conversacionales, bilateralidad, asimetría interaural y distribución según edad, sexo y grupo ocupacional. Es importante detallar que el propósito no fue estimar hipoacusia ocupacional inducida por ruido, sino describir patrones audiométricos de tamizaje que puedan orientar vigilancia, análisis epidemiológico y futuras investigaciones con medición directa de exposición acústica.

Material y Métodos

Diseño del estudio

Se realizó un estudio observacional transversal a partir de registros secundarios de evaluaciones médicas ocupacionales. La unidad de análisis fue el trabajador evaluado con audiometría tonal aérea. El objetivo analítico fue caracterizar fenotipos audiométricos de tamizaje por frecuencia y describir su distribución según edad, sexo y grupo ocupacional. El manuscrito se preparó siguiendo las recomendaciones STROBE para estudios observacionales transversales⁽⁶⁾.

Fuente de datos y población de estudio

La fuente de datos correspondió a una base institucional de evaluaciones de salud ocupacional. Los registros incluyeron información sociodemográfica, puesto de trabajo, antecedentes conductuales, mediciones antropométricas, presión arterial, variables clínicas disponibles y umbrales audiométricos por frecuencia y oído. No se dispuso de mediciones individuales de exposición a ruido, duración acumulada de exposición, uso de protección auditiva, antecedentes otológicos detallados, audiogramas basales ni audiogramas seriados.

Se consideraron elegibles los trabajadores de 18 años o más. La muestra analítica primaria se restringió a trabajadores con umbrales audiométricos válidos en ambos oídos para 500, 1000, 2000, 3000, 4000 y 6000 Hz. Estas frecuencias se utilizaron como núcleo analítico porque corresponden al conjunto mínimo

empleado en estándares de vigilancia audiométrica ocupacional, en los que los umbrales deben medirse por oído en 500, 1000, 2000, 3000, 4000 y 6000 Hz⁽⁷⁾. Las frecuencias de 250 y 8000 Hz no fueron criterio de inclusión del análisis primario para evitar que frecuencias no necesarias para la definición principal redujeran innecesariamente la muestra. La frecuencia de 8000 Hz se reservó para el análisis secundario del patrón notch-like. Se excluyeron del análisis primario los registros con edad faltante, edad menor de 18 años o audiometría incompleta o inválida en cualquiera de las frecuencias centrales del análisis. No se imputaron umbrales audiométricos faltantes para construir el desenlace, debido a que la imputación de valores por frecuencia podría generar fenotipos derivados que no fueron observados directamente.

Alcance inferencial

El análisis fue diseñado para describir fenotipos audiométricos específicos por frecuencia, no para estimar hipoacusia ocupacional inducida por ruido ni desplazamiento auditivo longitudinal. Esta restricción se definió antes de la interpretación de los resultados porque la base no contenía dosimetría individual ni audiogramas seriados. La definición regulatoria de standard threshold shift requiere comparar el promedio de 2000, 3000 y 4000 Hz con un audiograma basal, información que no estuvo disponible en esta base⁽⁷⁾. Además, aunque NIOSH reconoce 85 dBA como límite recomendado para exposición ocupacional promedio de 8 horas, la base no permitió clasificar a los trabajadores según ese umbral a nivel individual⁽⁹⁾. Por ello, las estimaciones se interpretaron como asociaciones y distribuciones transversales de fenotipos audiométricos de tamizaje.

Variables audiométricas y control de calidad

Los umbrales audiométricos se analizaron en dB HL para oído derecho y oído izquierdo. Antes de construir las variables derivadas, se aplicó una regla de control de calidad a nivel de frecuencia

y oído: los valores menores de -10 dB HL o mayores de 120 dB HL se consideraron inválidos y fueron tratados como faltantes. Esta regla buscó evitar que valores extremos, compatibles con error de digitación o registro no interpretable, determinaran la clasificación fenotípica. Un trabajador fue excluido de la muestra primaria solo cuando el valor faltante o inválido afectó alguna frecuencia central requerida para el desenlace principal.

Para mantener una unidad analítica individual, los oídos no se modelaron como observaciones independientes. Las definiciones principales se basaron en la presencia de alteración en cualquier oído o en el peor oído, según correspondiera. Esta decisión evitó pseudo-replicación, ya que las mediciones de ambos oídos pertenecen al mismo trabajador y no son estadísticamente independientes.

Desenlace principal

El desenlace principal fue un fenotipo audiométrico mutuamente excluyente de tres niveles: sin alteración en frecuencias clave, alteración aislada de alta frecuencia y compromiso de frecuencia conversacional. La categoría sin alteración se definió por ausencia de umbrales mayores de 25 dB HL en 500, 1000, 2000, 3000, 4000 o 6000 Hz en ambos oídos. La alteración aislada de alta frecuencia se definió como al menos un umbral mayor de 25 dB HL en 3000, 4000 o 6000 Hz en cualquier oído, sin umbrales mayores de 25 dB HL en 500, 1000 o 2000 Hz. El compromiso de frecuencia conversacional se definió como al menos un umbral mayor de 25 dB HL en 500, 1000 o 2000 Hz en cualquier oído, con o sin alteración concomitante de alta frecuencia. La jerarquía del desenlace asignó a los trabajadores con alteración conversacional a la categoría de compromiso de frecuencia conversacional, aun cuando también tuvieran alteración de alta frecuencia. Esta decisión evitó solapamientos y preservó una distinción funcional entre alteración limitada a frecuencias altas y alteración que alcanza frecuencias conversacionales. El punto

de corte primario mayor de 25 dB HL se usó como definición pragmática de tamizaje para favorecer especificidad frente a alteraciones puntuales. Como sensibilidad, se utilizó un punto de corte mayor de 20 dB HL, consistente con la definición de audición normal de 20 dB o menos descrita por la Organización Mundial de la Salud⁽⁸⁾.

Desenlaces secundarios

Los desenlaces secundarios incluyeron alteración de alta frecuencia, bilateralidad, asimetría interaural y patrón notch-like. La alteración de alta frecuencia se definió como al menos un umbral mayor de 25 dB HL en 3000, 4000 o 6000 Hz en cualquier oído, independientemente de las frecuencias conversacionales. La bilateralidad se definió cuando el criterio correspondiente se cumplió simultáneamente en oído derecho e izquierdo. La asimetría interaural primaria se definió como una diferencia absoluta de al menos 15 dB entre oído derecho e izquierdo en una o más frecuencias centrales. Como definición más específica, se evaluó la diferencia absoluta de al menos 15 dB entre los promedios de 3000, 4000 y 6000 Hz de ambos oídos.

El patrón notch-like se evaluó como análisis secundario y no como criterio diagnóstico de hipoacusia inducida por ruido. La definición conservadora requirió, en al menos un oído, un máximo umbral en 3000, 4000 o 6000 Hz mayor de 25 dB HL, al menos 10 dB peor que el promedio de 1000 y 2000 Hz, y una recuperación relativa de al menos 10 dB en 8000 Hz. Se evaluaron definiciones alternativas de notch-like para determinar la sensibilidad de la prevalencia a los criterios operacionales.

Covariables y clasificación ocupacional

Las covariables principales fueron edad, sexo y grupo ocupacional. La edad se describió en categorías de 18 a 29, 30 a 39, 40 a 49, 50 a 59 y 60 años o más. En los modelos ajustados, la edad se incorporó como variable continua mediante spline cúbico restringido con 3 grados de libertad, porque la relación entre edad y fenotipo podía

ser no lineal y las categorías de edad introducen puntos de corte arbitrarios. El sexo se incluyó como covariable de ajuste en los modelos primarios.

El grupo ocupacional se derivó de la variable textual de puesto mediante un diccionario reproducible. Los textos fueron normalizados y luego agrupados en categorías amplias: operativo/manual general, construcción/mantenimiento/instalación, transporte/equipos, almacén/logística/despacho, administrativo/técnico/profesional y no clasificado/vacío/otro. La agrupación se realizó para reducir inestabilidad por celdas pequeñas y errores ortográficos del texto libre. Esta variable se interpretó como descriptor ocupacional, no como medición de exposición a ruido.

El índice de masa corporal, tabaquismo, consumo de alcohol, presión arterial, glucosa y diabetes se utilizaron para descripción de la muestra y análisis secundarios. No se incorporaron al modelo principal porque el objetivo primario fue describir fenotipos audiométricos y su distribución demográfica y ocupacional, no estimar un efecto etiológico de una exposición específica. Además, algunas variables clínicas pudieron tener disponibilidad condicionada por decisiones de evaluación ocupacional y no necesariamente por un proceso aleatorio. Para evaluar estabilidad, se especificaron análisis expandidos con covariables clínicas disponibles.

Análisis estadístico

Las variables continuas se resumieron mediante media y desviación estándar, y mediante mediana y rango intercuartílico cuando fue informativo. Las variables categóricas se resumieron con frecuencias absolutas y porcentajes. Las prevalencias de fenotipos y rasgos secundarios se estimaron con intervalos de confianza del 95% mediante el método de Wilson. La comparación entre trabajadores incluidos y excluidos se realizó con diferencias estandarizadas, debido a que los valores p pueden sobredimensionar diferencias triviales cuando el tamaño muestral es amplio.

El análisis descriptivo de los umbrales audiométricos utilizó el peor oído por individuo para las curvas principales, con el fin de mantener coherencia con la definición del desenlace basada en cualquier oído. Los análisis por oído derecho e izquierdo se trataron como complementarios para examinar lateralidad y asimetría, no como análisis primarios independientes.

El modelo principal fue una regresión multinomial nominal para el fenotipo audiométrico de tres niveles, con la categoría sin alteración como referencia. Este modelo se eligió porque los fenotipos son mutuamente excluyentes pero no estrictamente ordinales; un modelo ordinal habría impuesto un supuesto de orden y de odds proporcionales difícil de justificar. Tampoco se eligió un desenlace binario único como análisis principal, porque habría mezclado alteración aislada de alta frecuencia y compromiso conversacional, perdiendo la estructura clínica del patrón audiométrico.

El modelo multinomial incluyó edad modelada con spline cúbico restringido, sexo y grupo ocupacional. Los resultados principales del modelo se expresaron como probabilidades marginales ajustadas, estandarizadas a la distribución de covariables de la muestra analítica. Esta forma de presentación se priorizó sobre los coeficientes logarítmicos o razones relativas del modelo, porque los fenotipos fueron frecuentes y las probabilidades marginales son directamente interpretables. Los intervalos de confianza del 95% de las probabilidades marginales se estimaron mediante simulación paramétrica a partir del vector de coeficientes y la matriz de covarianza del modelo, con 1000 extracciones.

Como análisis secundarios, se ajustaron modelos de Poisson con varianza robusta para desenlaces binarios, incluyendo alteración aislada de alta frecuencia, compromiso conversacional, alteración bilateral de alta frecuencia y asimetría interaural. Estos modelos se usaron para estimar razones de prevalencia, medida más interpretable

que las razones de odds cuando los desenlaces son frecuentes. No se consideraron sustitutos del modelo multinomial principal, porque cada desenlace binario colapsa parte de la clasificación fenotípica original⁽¹⁰⁾.

Los análisis de sensibilidad evaluaron la dependencia de los resultados frente a decisiones operacionales discutibles. Se repitieron las prevalencias utilizando umbral mayor de 20 dB HL, promedios tonales en lugar de cualquier frecuencia alterada, bilateralidad obligatoria, exclusión de trabajadores de 60 años o más, restricción a trabajadores con frecuencias completas entre 250 y 8000 Hz, y definiciones alternativas de notch-like. Estos análisis fueron especificados para distinguir cambios atribuibles a la definición operacional de cambios compatibles con el patrón principal observado.

No se imputaron desenlaces audiométricos ni frecuencias faltantes. Los análisis fueron bilaterales y se presentaron intervalos de confianza del 95%. Los valores p se reportaron para modelos secundarios y completos, pero la interpretación se centró en magnitud, dirección y precisión de las estimaciones. Los análisis se realizaron en Python 3.11.8, usando principalmente pandas 1.5.3, NumPy 1.24.0, SciPy 1.14.1, statsmodels 0.13.5 y matplotlib 3.6.3.

Consideraciones éticas

El protocolo de investigación recibió la aprobación del Comité de Ética en Investigación de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Previo al procesamiento estadístico, la información fue anonimizada para garantizar la confidencialidad tanto de los sujetos de estudio como de las empresas involucradas. El trabajo se desarrolló cumpliendo los principios estipulados en la Declaración de Helsinki, así como las directrices de buenas prácticas en investigación sobre salud ocupacional. La base de datos empleada está disponible bajo el identificador 10.6084/m9.figshare.32330487.

Selección de la muestra

De 3674 registros iniciales, se excluyeron 11 por edad faltante y 5 por edad menor de 18 años. Entre los adultos elegibles, 2219 fueron excluidos por audiometría incompleta o inválida en las frecuencias centrales del análisis. La muestra analítica primaria incluyó 1439 trabajadores con audiometría válida en ambos oídos para 500, 1000, 2000, 3000, 4000 y 6000 Hz.

En la comparación entre incluidos y excluidos, la edad media fue 35.5 ± 11.1 años en incluidos y 36.3 ± 11.9 años en excluidos. La proporción de varones fue mayor entre incluidos que entre excluidos, con 93.6% frente a 60.5% y una diferencia estandarizada de 0.785. También se observaron diferencias relevantes en la distribución ocupacional, principalmente en administrativo/técnico/profesional, operativo/manual general y no clasificado/vacío/otro.

Características de la muestra analítica

Las características de la muestra analítica se presentan en la Tabla 1. La edad media fue 35.5 ± 11.1 años y la mediana fue 34.0 años (RIC: 27.0–42.0). El grupo de 18 a 29 años representó 34.5% de la muestra, seguido por 30 a 39 años con 32.9%, 40 a 49 años con 20.8%, 50 a 59 años con 8.8% y 60 años o más con 3.1%.

Entre los trabajadores con sexo registrado, 93.6% fueron varones. El índice de masa corporal medio fue 26.6 ± 3.7 kg/m²; 46.0% tuvo sobrepeso y 17.2% obesidad. El 13.1% reportó tabaquismo y 51.6% consumo de alcohol. La presión arterial alta total estuvo presente en 6.6% y la diabetes en 1.7%. El grupo ocupacional más frecuente fue operativo/manual general, con 59.8%, seguido por construcción/mantenimiento/instalación con 13.0% y administrativo/técnico/profesional con 10.6%.

Calidad de las variables audiométricas

La disponibilidad de variables audiométricas fue similar entre frecuencias y oídos dentro del subconjunto con registros audiométricos. Se identificó un valor fuera de rango en

OI_6000, tratado como inválido según la regla preespecificada de valores menores de -10 dB HL o mayores de 120 dB HL. Los umbrales válidos oscilaron entre 0 y 110 dB HL según frecuencia y oído, excepto un valor de -5 dB HL en OI_4000, considerado dentro del rango plausible.

Fenotipos audiométricos

En la muestra analítica primaria, la ausencia de alteración en frecuencias clave fue el fenotipo más frecuente, con 851 trabajadores, equivalente a 59.1% (IC95%: 56.6–61.7). La alteración aislada de alta frecuencia se observó en 307 trabajadores, equivalente a 21.3% (IC95%: 19.3–23.5), y el compromiso de frecuencia conversacional en 281 trabajadores, equivalente a 19.5% (IC95%: 17.6–21.7). Estos resultados se presentan en la Tabla 2.

La alteración de alta frecuencia, independientemente del compromiso conversacional, estuvo presente en 533 trabajadores, equivalente a 37.0% (IC95%: 34.6–39.6). La alteración bilateral de alta frecuencia se observó en 21.9% y la alteración unilateral en 15.1%. El compromiso conversacional bilateral se observó en 7.6% y el compromiso conversacional unilateral en 11.9%. La asimetría interaural de al menos 15 dB en alguna frecuencia clave se observó en 45.2%, mientras que la asimetría definida por el promedio de altas frecuencias se observó en 4.2%. El patrón notch-like conservador se observó en 21.5% y el patrón notch-like bilateral conservador en 7.7%.

Patrón audiométrico según edad

Las curvas audiométricas por grupo de edad se presentan en la Figura 1. El umbral medio del peor oído aumentó con la edad, especialmente en frecuencias altas. En el grupo de 18 a 29 años, el umbral medio fue 19.7 dB HL en 4000 Hz y 20.1 dB HL en 6000 Hz. En el grupo de 40 a 49 años, los valores correspondientes fueron 28.1 y 26.6 dB HL. En el grupo de 60 años o más, los umbrales medios alcanzaron 44.5 dB HL en 4000 Hz y 47.2 dB HL en 6000 Hz.

En el grupo de 18 a 29 años, la alteración aislada de alta frecuencia fue cercana a 12% tanto en mujeres como en varones. En varones, la alteración aislada de alta frecuencia aumentó de 11.9% en 18 a 29 años a 22.5% en 30 a 39 años, 32.4% en 40 a 49 años y 36.9% en 50 a 59 años. En el grupo de 60 años o más, el compromiso conversacional fue el fenotipo predominante, con 75.0% en mujeres y 70.0% en varones, aunque las estimaciones femeninas se basaron en denominadores pequeños.

El modelo multinomial ajustado mostró una relación no lineal entre edad y fenotipo, presentada en la Figura 2. A los 20 años, las probabilidades ajustadas estimadas fueron 81.1% para ausencia de alteración, 8.2% para alteración aislada de alta frecuencia y 10.6% para compromiso conversacional. A los 40 años, las probabilidades fueron 52.9%, 28.3% y 18.7%, respectivamente. A los 50 años, la probabilidad ajustada de alteración aislada de alta frecuencia fue 34.8% y la de compromiso conversacional fue 33.7%. A los 60 años, el compromiso conversacional fue 58.8%, la alteración aislada de alta frecuencia fue 26.7% y la ausencia de alteración fue 14.5%.

Fenotipos según grupo ocupacional

Las probabilidades marginales ajustadas por grupo ocupacional se presentan en la Tabla 3. En operativo/manual general, la probabilidad ajustada de ausencia de alteración fue 58.0% (IC95%: 54.8–60.7), la de alteración aislada de alta frecuencia fue 21.9% (IC95%: 19.4–24.7) y la de compromiso conversacional fue 20.1% (IC95%: 17.7–23.0). En construcción/mantenimiento/instalación, las probabilidades fueron 60.1% (IC95%: 53.5–66.2), 24.8% (IC95%: 19.3–30.9) y 15.1% (IC95%: 11.0–20.6), respectivamente.

En transporte/equipos, la probabilidad ajustada de ausencia de alteración fue 75.7% (IC95%: 63.6–83.7), con 17.0% (IC95%: 9.9–27.7) para alteración aislada de alta frecuencia y 7.4% (IC95%: 3.1–15.5) para compromiso conversacional. En almacén/logística/despacho,

la probabilidad ajustada de compromiso conversacional fue 27.6% (IC95%: 18.5–38.3). En no clasificado/vacío/otro, esta probabilidad fue 26.4% (IC95%: 19.4–34.6).

Análisis secundarios y de sensibilidad

Al utilizar un umbral mayor de 20 dB HL, la proporción sin alteración disminuyó a 20.2%, mientras que el compromiso conversacional aumentó a 58.0%. La alteración aislada de alta frecuencia con este umbral fue 21.8%. Al utilizar fenotipos basados en promedio tonal del peor oído, la ausencia de alteración fue 71.9%, la alteración aislada de alta frecuencia fue 17.3% y el compromiso conversacional fue 10.8%. Al exigir bilateralidad, la ausencia de alteración fue 76.3%, la alteración aislada de alta frecuencia fue 16.1% y el compromiso conversacional fue 7.6%.

Al excluir trabajadores de 60 años o más, la alteración aislada de alta frecuencia fue 21.5% y el compromiso conversacional fue 17.9%. La restricción a trabajadores con frecuencias completas entre 250 y 8000 Hz produjo resultados similares al análisis primario, con 21.4% para alteración aislada de alta frecuencia y 19.5% para compromiso conversacional.

En los modelos de Poisson con varianza robusta, el sexo femenino se asoció con menor prevalencia de alteración aislada de alta frecuencia frente al resto de fenotipos, con razón de prevalencia de 0.55 (IC95%: 0.30–1.00). En comparación con operativo/manual general, almacén/logística/despacho tuvo una razón de prevalencia de 0.46 (IC95%: 0.22–0.98) para alteración aislada de alta frecuencia frente al resto, y transporte/equipos tuvo una razón de prevalencia de 0.38 (IC95%: 0.16–0.89) para compromiso conversacional frente al resto.

Patrón notch-like

Según la definición utilizada, la prevalencia unilateral o bilateral del patrón notch-like varió entre 18.3% y 27.7%, mientras que la prevalencia bilateral varió entre 6.3% y 10.2%. Con la

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA ANALÍTICA.

Característica	n disponible	Resultado
Tamaño muestral	1439	1439
Edad, años		
media $\pm$ DE	1439	35.5 $\pm$ 11.1
mediana (RIC)	1439	34.0 (27.0–42.0)
IMC, kg/m ²		
media $\pm$ DE	1439	26.6 $\pm$ 3.7
mediana (RIC)	1439	26.2 (24.0–28.8)
Presión sistólica, mmHg		
media $\pm$ DE	1420	109.9 $\pm$ 10.3
mediana (RIC)	1420	110.0 (100.0–120.0)
Presión diastólica, mmHg		
media $\pm$ DE	1419	70.8 $\pm$ 8.9
mediana (RIC)	1419	70.0 (60.0–80.0)
Glucosa, mg/dL		
media $\pm$ DE	1432	92.7 $\pm$ 16.9
mediana (RIC)	1432	92.0 (84.0–99.0)
Colesterol total, mg/dL		
media $\pm$ DE	1088	181.4 $\pm$ 36.2
mediana (RIC)	1088	179.0 (156.0–199.0)
Triglicéridos, mg/dL		
media $\pm$ DE	1088	143.5 $\pm$ 89.7
mediana (RIC)	1088	120.5 (81.8–178.0)
HDL, mg/dL		
media $\pm$ DE	24	47.2 $\pm$ 12.3
mediana (RIC)	24	43.5 (40.8–48.0)
LDL, mg/dL		
media $\pm$ DE	25	95.9 $\pm$ 32.2
mediana (RIC)	25	95.0 (82.0–109.0)
Edad categórica		
18–29	1439	496 (34.5%)
30–39	1439	473 (32.9%)
40–49	1439	299 (20.8%)
50–59	1439	127 (8.8%)
≥ 60	1439	44 (3.1%)

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA ANALÍTICA.

Característica	n disponible	Resultado
Sexo		
Femenino	1437	92 (6.4%)
Masculino	1437	1345 (93.6%)
Categoría IMC		
Bajo peso	1439	4 (0.3%)
Normopeso	1439	525 (36.5%)
Sobrepeso	1439	662 (46.0%)
Obesidad	1439	248 (17.2%)
Fumador		
No	1439	1251 (86.9%)
Sí	1439	188 (13.1%)
Consumo de alcohol		
No	1439	696 (48.4%)
Sí	1439	743 (51.6%)
Presión arterial alta total		
No	1439	1344 (93.4%)
Sí	1439	95 (6.6%)
Diabetes		
No	1432	1408 (98.3%)
Sí	1432	24 (1.7%)
Grupo ocupacional recodificado		
Administrativo/técnico/profesional	1439	152 (10.6%)
Almacén/logística/despacho	1439	68 (4.7%)
Construcción/mantenimiento/instalación	1439	187 (13.0%)
No clasificado/vacío/otro	1439	119 (8.3%)
Operativo/manual general	1439	860 (59.8%)
Transporte/equipos	1439	53 (3.7%)

definición conservadora de caída de al menos 10 dB respecto al promedio de 1000 y 2000 Hz y recuperación de al menos 10 dB en 8000 Hz, la prevalencia unilateral o bilateral fue 21.5% y la bilateral fue 7.7%.

Discusión

Hallazgos principales

En esta población de tamizaje ocupacional, 37.0% de los trabajadores presentó alteración

TABLA 2. PREVALENCIA GLOBAL DE FENOTIPOS Y RASGOS AUDIOMÉTRICOS SECUNDARIOS.

Indicador	n	Denominador	%	IC95%
Sin alteración en frecuencias clave	851	1439	59.1	56.6–61.7
Alteración aislada de alta frecuencia	307	1439	21.3	19.3–23.5
Compromiso de frecuencia conversacional	281	1439	19.5	17.6–21.7
Alta frecuencia alterada (>25 dB en 3000/4000/6000 Hz, cualquier oído)	533	1439	37.0	34.6–39.6
Alta frecuencia bilateral	315	1439	21.9	19.8–24.1
Alta frecuencia unilateral	218	1439	15.1	13.4–17.1
Compromiso conversacional bilateral	110	1439	7.6	6.4–9.1
Compromiso conversacional unilateral	171	1439	11.9	10.3–13.7
Asimetría interaural ≥ 15 dB en alguna frecuencia clave	651	1439	45.2	42.7–47.8
Asimetría PTA altas frecuencias ≥ 15 dB	60	1439	4.2	3.3–5.3
Patrón notch-like conservador	309	1439	21.5	19.4–23.7
Patrón notch-like bilateral conservador	111	1434	7.7	6.5–9.2

FIGURA 1. CURVAS AUDIOMÉTRICAS POR GRUPO DE EDAD, USANDO EL PEOR OÍDO POR INDIVIDUO.

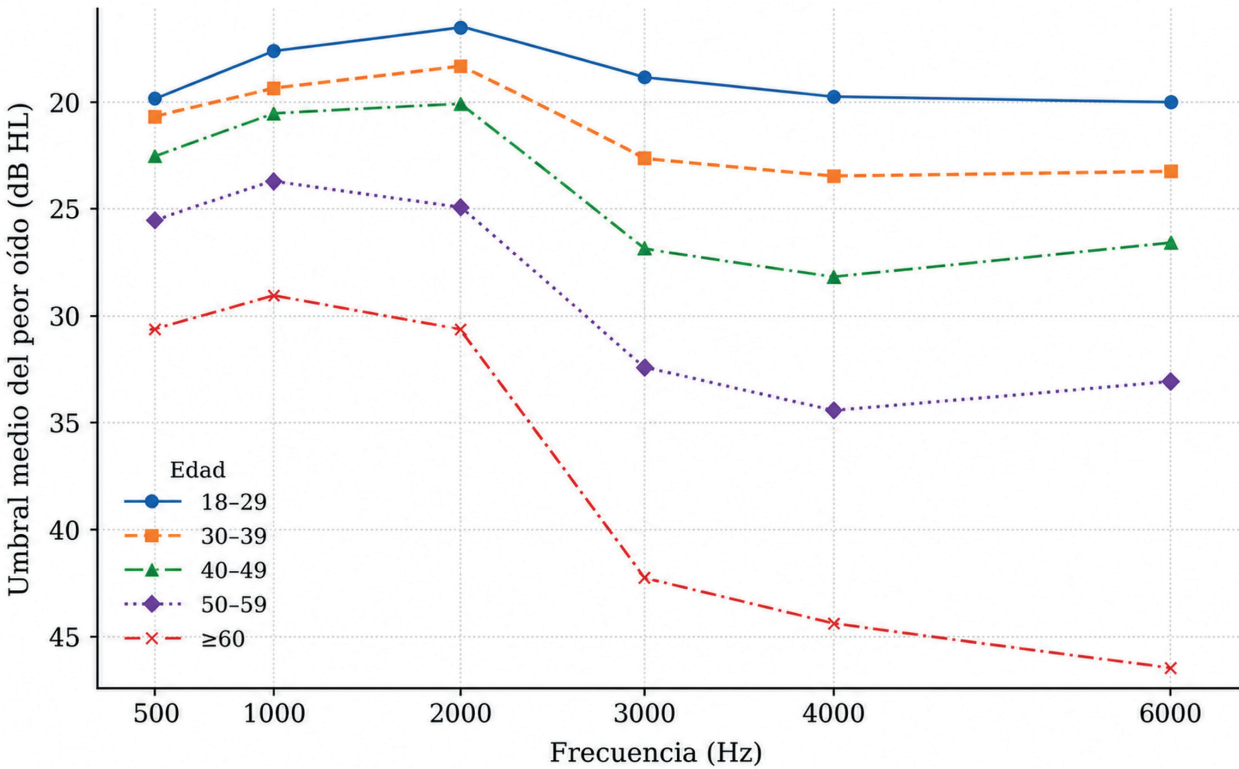
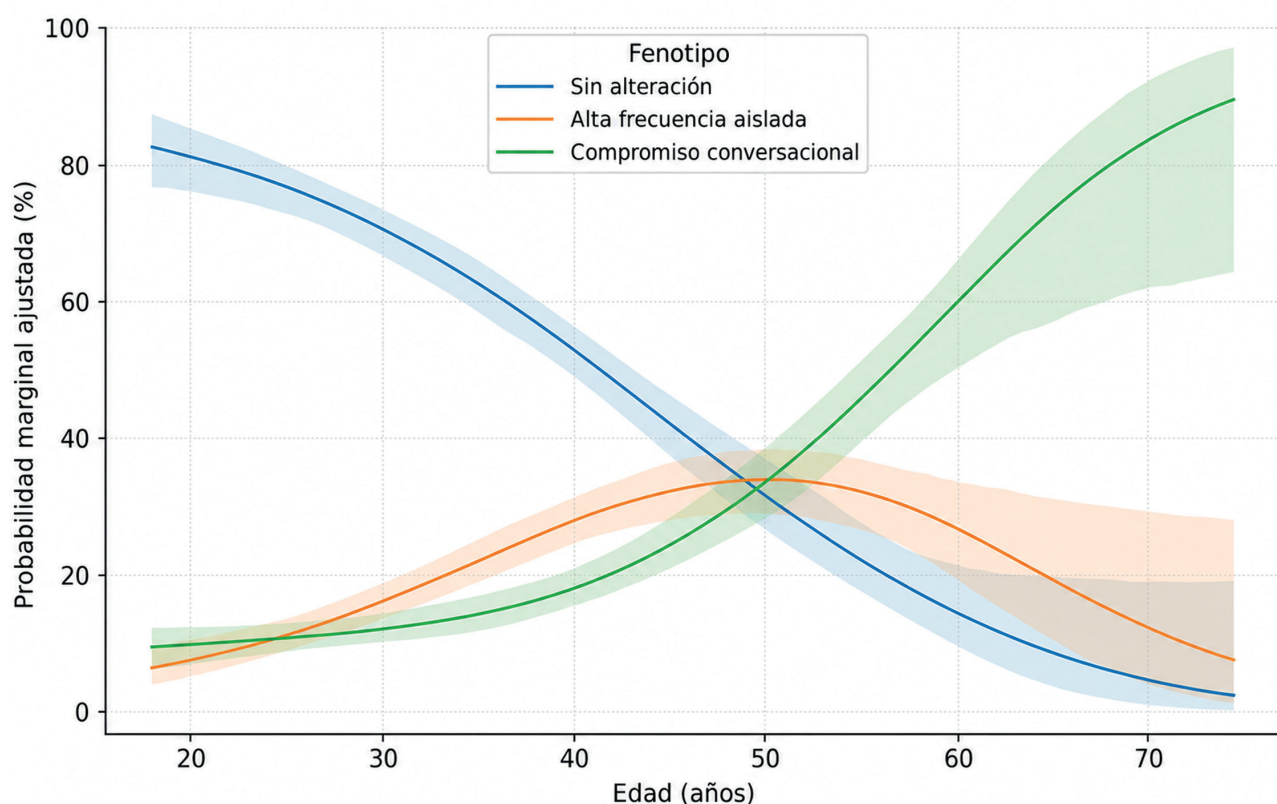


FIGURA 2. PROBABILIDAD MARGINAL AJUSTADA DE FENOTIPO AUDIOMÉTRICO SEGÚN EDAD..



de alta frecuencia y 21.3% tuvo un fenotipo de alteración aislada de alta frecuencia, mientras que 19.5% mostró compromiso de frecuencias conversacionales. El patrón por edad fue no lineal: la alteración aislada de alta frecuencia aumentó hasta edades medias, y el compromiso conversacional predominó en edades mayores. Las diferencias por grupo ocupacional se observaron después del ajuste por edad y sexo, pero deben interpretarse como asociaciones descriptivas basadas en puestos textuales, no como estimaciones causales de exposición ocupacional a ruido. Este encuadre es consistente con el diseño transversal del estudio y con la ausencia de dosimetría individual o audiogramas seriados.

Comparación con otros estudios

La magnitud observada de alteración audiométrica se ubica dentro de un campo de evidencia en el que las estimaciones varían ampliamente por definición de desenlace, población, frecuencia analizada y nivel de exposición. A escala global, Nelson y colaboradores estimaron que 16% de la pérdida auditiva discapacitante en adultos era atribuible al ruido ocupacional, con variación regional de 7% a 21%⁽¹²⁾. En trabajadores estadounidenses expuestos a ruido, el proyecto de vigilancia de NIOSH reportó deterioro auditivo en sectores como minería, construcción y manufactura, usando más de 1.4 millones de audiogramas⁽¹⁴⁾. En construcción, un análisis de 2010 a 2019 estimó 23% de pérdida auditiva en trabajadores expuestos a ruido, frente a 20% en

TABLA 3. PROBABILIDADES MARGINALES AJUSTADAS DE FENOTIPO AUDIOMÉTRICO POR GRUPO OCUPACIONAL.

Grupo ocupacional	N observado	Sin alteración	Alta frecuencia aislada	Compromiso conversacional
Administrativo/técnico/profesional	152	59.9 (51.5–66.1)	21.6 (16.0–28.7)	18.5 (13.4–25.1)
Almacén/logística/despacho	68	62.2 (50.0–71.5)	10.2 (4.7–19.8)	27.6 (18.5–38.3)
Construcción/mantenimiento/instalación	187	60.1 (53.5–66.2)	24.8 (19.3–30.9)	15.1 (11.0–20.6)
No clasificado/vacío/otro	118	55.5 (46.6–63.2)	18.1 (11.7–25.9)	26.4 (19.4–34.6)
Operativo/manual general	859	58.0 (54.8–60.7)	21.9 (19.4–24.7)	20.1 (17.7–23.0)
Transporte/equipos	53	75.7 (63.6–83.7)	17.0 (9.9–27.7)	7.4 (3.1–15.5)

todos los sectores combinados⁽¹⁵⁾. La comparación directa con nuestro estudio es limitada porque nuestro desenlace primario no fue pérdida auditiva discapacitante ni hipoacusia inducida por ruido, sino fenotipos por frecuencia; aun así, la proporción de alteración de alta frecuencia muestra que el tamizaje ocupacional puede identificar patrones auditivos relevantes antes de que todos los casos alcancen frecuencias conversacionales.

El patrón por edad coincide con la literatura sobre pérdida auditiva relacionada con envejecimiento, en la que las frecuencias altas suelen afectarse antes que las frecuencias bajas o conversacionales^(16,17). Esta coincidencia también explica por qué el análisis no debe atribuir automáticamente la alteración de alta frecuencia al entorno ocupacional. En revisiones sobre exposición laboral a ruido se reconoce que distinguir entre pérdida relacionada con edad y pérdida asociada a ruido es difícil a nivel individual, sobre todo en diseños transversales y sin historia acumulada de exposición⁽¹⁸⁾. En nuestro estudio, el uso de edad continua con spline permitió describir la transición fenotípica sin imponer categorías rígidas; ese patrón fue más informativo que un modelo binario de hipoacusia, que habría mezclado casos aislados de alta frecuencia con casos de compromiso conversacional.

Las diferencias por grupo ocupacional son

compatibles con el hecho de que la exposición a ruido no se distribuye de forma uniforme entre ocupaciones e industrias. La revisión sistemática desarrollada para las estimaciones conjuntas OMS/OIT encontró una prevalencia agrupada de exposición ocupacional a ruido de 17%, con heterogeneidad por región, sexo, sector e industria, y con evidencia calificada como de baja calidad por riesgo de sesgo e indirectitud⁽¹¹⁾. Revisiones ocupacionales también han descrito que el ruido peligroso es frecuente en construcción, minería, manufactura y otros entornos manuales^(3,13). En América Latina, la evidencia disponible tiende a concentrarse en sectores específicos, como minería, y una revisión sistemática reciente subrayó limitaciones metodológicas en los estudios primarios⁽⁴⁾. Por tanto, la asociación observada entre grupo ocupacional textual y fenotipo audiométrico aporta información descriptiva útil, pero no sustituye una medición ambiental o personal de ruido.

El análisis notch-like debe interpretarse con cautela. McBride y Williams mostraron que el notch audiométrico se relaciona con historia de exposición a ruido, pero también señalaron la necesidad de una historia de exposición detallada para interpretar el patrón⁽¹⁹⁾. Rabinowitz y colaboradores indicaron que, aunque el notch se usa en criterios diagnósticos, no existe una definición estandarizada única⁽²⁰⁾.

En una muestra de más de 12 000 trabajadores ferroviarios, Lie y colaboradores observaron variación sustantiva de la prevalencia del notch según definición y exposición⁽²¹⁾. Las guías de ACOEM también enfatizan que el diagnóstico ocupacional requiere integrar patrón audiométrico, historia de exposición y exclusión de causas alternativas⁽²²⁾. En consecuencia, la prevalencia de notch-like en nuestro estudio se presenta como patrón secundario y no como diagnóstico causal.

Implicancias para la salud pública e internacional

La primera implicancia es que los registros rutinarios de salud ocupacional pueden generar vigilancia auditiva útil si se analizan con suficiente resolución por frecuencia. La OMS plantea que la atención auditiva debe integrarse en sistemas de salud centrados en las personas, con detección temprana, rehabilitación y seguimiento⁽²⁾. En países de ingresos bajos y medianos, donde la carga de pérdida auditiva es mayor y el acceso a servicios auditivos es más limitado, las evaluaciones ocupacionales pueden funcionar como una puerta de entrada para identificar alteraciones subclínicas o tempranas^(1,2). El valor internacional del presente estudio no reside en estimar causalidad ocupacional, sino en mostrar una estrategia analítica reproducible para transformar audiometrías de rutina en fenotipos interpretables.

La segunda implicancia es preventiva. En programas de conservación auditiva, detectar alteración aislada de alta frecuencia puede orientar intervenciones antes de que el compromiso alcance frecuencias conversacionales. Las recomendaciones preventivas internacionales priorizan controles de ingeniería, controles administrativos, monitoreo de exposición, audiometría periódica, educación y protección auditiva cuando corresponde^(9,22). OSHA exige vigilancia audiométrica en trabajadores incluidos en programas de conservación auditiva y define desplazamientos auditivos a partir de cambios respecto a un audiograma basal⁽⁷⁾. Nuestro

estudio no evalúa desplazamiento longitudinal, pero refuerza que los datos transversales pueden identificar subgrupos para seguimiento, reevaluación clínica o fortalecimiento de medidas preventivas.

La tercera implicancia se relaciona con seguridad y productividad laboral. La pérdida auditiva y la exposición a ruido se han asociado con mayor dificultad de comunicación, menor percepción de señales de alarma, riesgo de lesiones ocupacionales y costos por productividad perdida^(13,23,24,25,26). Cantley y colaboradores observaron asociación entre exposición ambiental a ruido, audición y riesgo de lesión ocupacional aguda⁽²³⁾, y Picard y colaboradores reportaron asociación entre sensibilidad auditiva y accidentes laborales⁽²⁴⁾. Un modelo australiano estimó carga económica relevante por pérdida de productividad asociada a hipoacusia ocupacional inducida por ruido⁽²⁵⁾. Aunque nuestro estudio no midió accidentes ni productividad, la frecuencia de alteraciones de alta frecuencia y conversacionales justifica considerar la salud auditiva como parte de la gestión integral de riesgos laborales, no solo como un resultado audiométrico aislado.

Limitaciones

Este estudio tiene limitaciones. El diseño transversal impide establecer temporalidad y no permite estimar incidencia, progresión ni desplazamientos auditivos respecto a un basal. También existe posibilidad de causalidad reversa o, con mayor precisión en este contexto, selección laboral: trabajadores con alteraciones auditivas podrían haber cambiado de puesto, haber sido reasignados o haber permanecido diferencialmente en ciertos grupos ocupacionales. No se contó con mediciones individuales de exposición a ruido, duración acumulada de exposición, uso de protectores auditivos, exposición extralaboral, historia otológica, exposición a solventes u otros agentes ototóxicos, ni información detallada de calibración o condiciones ambientales de la prueba. La

clasificación ocupacional se basó en texto libre y puede contener error de clasificación. La muestra analítica se restringió a trabajadores con audiometría completa en frecuencias centrales, y la comparación con excluidos mostró diferencias por sexo y ocupación, por lo que los resultados no deben generalizarse a todos los registros iniciales. Finalmente, algunas definiciones, como asimetría en cualquier frecuencia o notch-like, son sensibles a decisiones operacionales; por ello se presentaron análisis de sensibilidad y no se usaron como desenlaces causales principales.

Conclusiones

En trabajadores evaluados mediante tamizaje ocupacional, la alteración de alta frecuencia fue frecuente y aproximadamente uno de cada cinco presentó alteración aislada de alta frecuencia. El compromiso de frecuencias conversacionales también fue frecuente y aumentó con la edad. El análisis por fenotipos específicos por frecuencia permitió distinguir patrones con diferente interpretación funcional y evitó reducir la audiometría a una clasificación binaria. Las diferencias por grupo ocupacional fueron asociaciones descriptivas ajustadas y no evidencian causalidad ocupacional por ruido.

Los estudios futuros deberían incorporar dosimetría individual o mediciones ambientales estandarizadas, historia laboral acumulada, uso de protección auditiva, exposición extralaboral a ruido, agentes ototóxicos y audiogramas seriados. En bases ocupacionales ya existentes, se recomienda reportar umbrales por frecuencia, separar alteración aislada de alta frecuencia y compromiso conversacional, evaluar bilateralidad y asimetría, y documentar la selección de la muestra analítica. Para la práctica de salud ocupacional, los resultados apoyan el uso de fenotipos audiométricos como herramienta de vigilancia y priorización preventiva, manteniendo una interpretación no causal cuando la exposición individual a ruido no ha sido medida.

Declaraciones

Aprobación ética y consentimiento para participar

El estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Se obtuvo el permiso de la institución. Dado que se trata de un análisis de datos de una base de datos previamente recolectada, no se requirió el consentimiento informado de cada participante.

Disponibilidad de datos

La base de datos anonimizada está disponible en [10.6084/m9.figshare.32330487](https://figshare.com/figures/data/32330487)

Conflictos de intereses

El autor declara no tener conflictos de interés.

Financiamiento

Este estudio fue autofinanciado.

Agradecimientos

Se agradece a los miembros de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), Chachapoyas, Amazonas, Perú, por su apoyo y contribuciones durante la realización de esta investigación.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial en la redacción

El autor declara que no se utilizaron inteligencia artificial (IA) generativa ni modelos de lenguaje grande (LLM) en la concepción, el análisis de datos o la redacción inicial de este manuscrito.

Contribución del autor

Víctor Juan Vera-Ponce: Conceptualización, Investigación, Metodología, Adquisición de fondos, Administración de proyecto, Supervisión, Recursos, Visualización, Validación, Software,

Curación de datos, Análisis formal, Redacción - Borrador original, Redacción - Revisión y edición.

Bibliografía

1. GBD 2019 Hearing Loss Collaborators. Hearing loss prevalence and years lived with disability, 1990-2019: findings from the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2021;397(10278):996-1009. doi:10.1016/S0140-6736(21)00516-X.
2. World Health Organization. World report on hearing. Geneva: World Health Organization; 2021.
3. Chen KH, Su SB, Chen KT. An overview of occupational noise-induced hearing loss among workers: epidemiology, pathogenesis, and preventive measures. *Environ Health Prev Med*. 2020;25(1):65. doi:10.1186/s12199-020-00906-0.
4. Casal-Pardo B, Jasso-Gascon NE, Preciados-Sola R, Reinoso-Garcia K. Pérdida auditiva y exposición laboral a ruido en minería: una revisión sistemática. *Med Segur Trab*. 2022;68(266):36-55. doi:10.4321/S0465-546X2022000100004.
5. Suárez Mora JA, Molina-Montoya NP, Vélez García CP. Prevalencia y factores asociados a hipoacusia en trabajadores del sector alimentos en Bogotá en el año 2022. *Rev Asoc Esp Espec Med Trab*. 2024;33(2):159-171.
6. von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, Vandenbroucke JP; STROBE Initiative. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *Lancet*. 2007;370(9596):1453-1457. doi:10.1016/S0140-6736(07)61602-X.
7. Occupational Safety and Health Administration. 29 CFR 1910.95: Occupational noise exposure. Washington, DC: United States Department of Labor.
8. World Health Organization. Deafness and hearing loss. Geneva: World Health Organization; updated March 3, 2026.
9. National Institute for Occupational Safety and Health. Understand noise exposure. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention; updated January 31, 2024.
10. Zou G. A modified Poisson regression approach to prospective studies with binary data. *Am J Epidemiol*. 2004;159(7):702-706. doi:10.1093/aje/kwh090.
11. Teixeira LR, Pega F, de Abreu W, de Almeida MS, de Andrade CAF, Azevedo TMA, et al. The prevalence of occupational exposure to noise: a systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. *Environ Int*. 2021;154:106380. doi:10.1016/j.envint.2021.106380.
12. Nelson DI, Nelson RY, Concha-Barrientos M, Fingerhut M. The global burden of occupational noise-induced hearing loss. *Am J Ind Med*. 2005;48(6):446-458. doi:10.1002/ajim.20223.
13. Themann CL, Masterson EA. Occupational noise exposure: a review of its effects, epidemiology, and impact with recommendations for reducing its burden. *J Acoust Soc Am*. 2019;146(5):3879-3905. doi:10.1121/1.5134465.
14. Masterson EA, Bushnell PT, Themann CL, Morata TC. Hearing impairment among noise-exposed workers - United States, 2003-2012. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*. 2016;65(15):389-394. doi:10.15585/mmwr.mm6515a2.
15. Masterson EA, Themann CL. Prevalence of hearing loss among noise-exposed U.S. workers within the Construction sector, 2010-2019. *J Safety Res*. 2025;92:158-165. doi:10.1016/j.jsr.2024.11.005.
16. Bowl MR, Dawson SJ. Age-related hearing loss. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2019;9(8):a033217. doi:10.1101/cshperspect.a033217.
17. Jayakody DMP, Friedland PL, Martins RN, Sohrabi HR. Impact of aging on the auditory system and related cognitive functions: a narrative review. *Front Neurosci*. 2018;12:125. doi:10.3389/fnins.2018.00125.
18. Lie A, Skogstad M, Johannessen HA, Tynes T, Mehlum IS, Nordby KC, et al. Occupational noise exposure and hearing: a systematic review. *Int Arch Occup Environ Health*. 2016;89(3):351-372. doi:10.1007/s00420-015-1083-5.
19. McBride DI, Williams S. Audiometric notch as a sign of noise induced hearing loss. *Occup*

- Environ Med. 2001;58(1):46-51. doi:10.1136/oem.58.1.46.
20. Rabinowitz PM, Galusha D, Slade MD, Dixon-Ernst C, Sircar KD, Dobie RA. Audiogram notches in noise-exposed workers. *Ear Hear.* 2006;27(6):742-750. doi:10.1097/01.aud.0000240544.79254.bc.
21. Lie A, Skogstad M, Johnsen TS, Engdahl B, Tambs K. The prevalence of notched audiograms in a cross-sectional study of 12,055 railway workers. *Ear Hear.* 2015;36(3):e86-e92. doi:10.1097/AUD.0000000000000139.
22. Kirchner DB, Evenson E, Dobie RA, Rabinowitz P, Crawford J, Kopke R, et al. Occupational noise-induced hearing loss: ACOEM Task Force on Occupational Hearing Loss. *J Occup Environ Med.* 2012;54(1):106-108. doi:10.1097/JOM.0b013e318242677d.
23. Cantley LF, Galusha D, Cullen MR, Dixon-Ernst C, Rabinowitz PM, Neitzel RL. Association between ambient noise exposure, hearing acuity, and risk of acute occupational injury. *Scand J Work Environ Health.* 2015;41(1):75-83. doi:10.5271/sjweh.3460.
24. Picard M, Girard SA, Simard M, Larocque R, Leroux T, Turcotte F. Association of work-related accidents with noise exposure in the workplace and noise-induced hearing loss based on the experience of some 240,000 person-years of observation. *Accid Anal Prev.* 2008;40(5):1644-1652. doi:10.1016/j.aap.2008.05.013.
25. Si S, Lewkowski K, Fritschi L, Heyworth J, Liew D, Li I. Productivity burden of occupational noise-induced hearing loss in Australia: a life table modelling study. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(13):4667. doi:10.3390/ijerph17134667.
26. Granberg S, Gustafsson J. Key findings about hearing loss in the working-life: a scoping review from a well-being perspective. *Int J Audiol.* 2021;60(Suppl 2):S60-S70. doi:10.1080/14992027.2021.1881628.