

Sordera inducida: una revisión sistemática exploratoria *Induced deafness: an exploratory systematic review*

Juan Pablo Espinoza Donos¹, Franz Paul Guzmán Galarza², Pamela Alexandra Merino Salazar³.

¹ Magister en Salud y Seguridad Ocupacional, Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.
<https://orcid.org/0000-0002-2018-4009> juanp.espinoza5@gmail.com

² Magister en Seguridad Salud y Ambiente., Universidad Internacional SEK., Quito., Ecuador.
<https://orcid.org/0000-0002-2018-4009> franz.guzman1@uisek.edu.ec Autor de correspondencia.

³ PhD, Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.
<https://orcid.org/0000-0002-3796-4706> pamela.merino@uisek.edu.ec

Resumen

La pérdida auditiva, por la exposición a ruido, es uno de los riesgos ocupacionales más reportados mundialmente, lo que demuestra que es de suma importancia entender la manera en la que el ruido se percibe, con la finalidad de poder tratarlo y brindar los controles correspondientes. Objetivos: Presentar una síntesis sobre la sordera inducida, su fisiopatología, factores asociados y medidas de control. Metodología: Se realizó una revisión sistemática en los recursos electrónicos de *PubMed*, *Scopus* y *Google Scholar* que tengan relación con ruido, exposición, factores y recomendaciones. Se estudiaron 20 artículos, de los cuales 13 presentaron evidencias más relevantes sobre el tema. Resultados: Es importante saber cómo funciona el oído y la capacidad de escuchar para poder realizar estudios e identificar los factores influyentes. En base a los artículos recuperados, se mostró que los factores más influyentes en la pérdida auditiva eran: género y edad, características individuales y nivel sonoro con el tiempo de exposición. Así mismo, dependiendo de cómo se manifiesta el ruido, se pueden llegar a producir distintos traumas. Conclusión: Es importante entender cómo funciona la percepción del ruido y sus propiedades porque dependiendo de esto se pueden producir daños a la salud, no solo de manera neurosensorial. De igual manera, existen variables que con la tecnología actual no pueden ser valoradas al momento de realizar evaluaciones auditivas. Finalmente, hay que identificar la mejor manera de tratar la exposición a ruido desde una fase temprana para evitar problemas irreversibles en el futuro.

Palabras clave: Sordera inducida, exposición, ruido, factores, cuidados.

Abstract

Hearing loss, due to noise exposure, is one of the most reported occupational risks worldwide, which shows that it is of extremely importance to understand the way noise is perceived, in order to be able to treat it and provide the corresponding controls. Objectives: To present a synthesis on induced deafness, its pathophysiology, associated factors and control measures. Methodology: Carry out a systematic review in the electronic resources of *PubMed*, *Scopus* and *Google Scholar* that are related to noise, exposure, factors and recommendations. 20 articles were studied, of which 13 presented more relevant evidence on the subject. Results: It is important to know how the ear works and the ability of listening to carry out studies and identify the influencing factors. Based retrieved articles, it was shown that the most

influential factors in hearing loss were: gender and age, individual characteristics and sound level with its time of exposure. Likewise, depending on how the noise manifests, different traumas can occur. Conclusion: It is important to understand how the perception of noise and its properties works because, depending on this, some kind of damage to the human health can occur, not only in a neurosensory way. Similarly, there are variables that with current technology cannot be assessed when conducting hearing evaluations. Finally, it is necessary to identify the best way to treat noise exposure from an early stage to avoid irreversible problems in the future.

Keywords: Induced deafness, exposure, noise, factors, care.

Introducción

La pérdida auditiva es uno de los problemas con mayor prevalencia en los últimos años, por lo que se estima que dentro de la población mundial 1.3 billones de personas presentan algún tipo de pérdida auditiva, debido a la exposición a ruido (Chen, Su, Bin, y Chenn, K. T, 2020).

Solo en Estados Unidos se estima que un 25% de la población sufre algún tipo de pérdida auditiva debido a este fenómeno, al cual se lo ha denominado como "*Noise Induced Hearing Loss*" (NIHL) (Liberman, 2017). Aunque los factores ergonómicos ocupacionales, al igual que la exposición a ruido, no causen mortalidad, estos son factores que contribuyen significativamente a que se produzca alguna discapacidad en las personas (Smith y Pillarisetti, 2017).

Según la Organización Mundial de la Salud, en base a registros del año 2017, aproximadamente 260 millones de personas sufren de pérdida auditiva severa, mientras que 1.1 billones de jóvenes entre edades 12 y 35 años, sufren de algún tipo de pérdida auditiva debido a la presencia de ruido (Ding, T., Yan, A., y Liu, K., 2019). Consecuentemente, la OMS también reporta que un 16% de la pérdida auditiva registrada en adultos es el resultado de una exposición a ruido ocupacional (Hong, O. S., Kerr, M. J., Poling, G. L., y Dhar, S. 2013).

Desde el punto de vista anatómico, el oído humano no está diseñado para soportar altas presiones de energía producidas por maquinarias o equipos utilizados en los oficios que forman parte de esta sociedad industrializada. Históricamente, los primeros casos de NIHL tienen lugar en el siglo XVIII debido a la revolución industrial (Liberman, 2017).

Esta enfermedad antiguamente era más común dentro de las personas que trabajaban como herraderos, ya que debido a la actividad que realizaban, que consistía en golpear y tratar piezas metálicas, se producía ruido en forma de impacto (Chen, K. H., Su, S. Bin, y Chen, K. T, 2020; Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017). Este es uno de los dos tipos de ruido de acuerdo con la clasificación de duración: el ruido impulso y el ruido ocupacional, o continuo, que se puede identificar en el ambiente de trabajo. Hay que considerar que el ruido impulso tiene la característica de poseer una corta duración, pero libera gran cantidad de energía, lo que produce más daño hacia la parte interna del oído (Tambs et al., 2006).

En la actualidad, la pérdida auditiva trae consigo una serie de consecuencias, y no solo individuales, como la salud de las personas sino también produce un daño económico para el empleador de un lugar de trabajo, debido a la baja en la productividad de sus líneas de trabajo como resultado de la ausencia del personal. Por ejemplo: en Estados Unidos se estima que la compensación anual, debido a la exposición de ruido dentro del ámbito laboral "*Occupational Noise Induced Hearing Loss*" (ONIHL), alcance los \$247,4 M. (Chen, K. H., Su, S. Bin, y Chen, K. T, 2020). Otro dato importante sobre esta población es que de todo el personal que trabaja y que se encuentra expuesto a ruido, un 23% presenta algún tipo de pérdida auditiva, un 15% presenta tinnitus o la presencia de zumbidos y un 9% presenta los dos (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017).

En Europa, NIHL es una enfermedad que ha causado altos niveles de preocupación y es considerada un problema serio debido que es la enfermedad ocupacional más reportada. En Noruega, cada año se reciben alrededor de 2000 casos, de los cuales 600 son reportados como nuevos (Lie et al., 2016).

El ruido es un factor que se manifiesta de muchísimas formas en el ambiente, no solo ocupacional. Es por esta razón que existen muchos factores que, aunque no son considerados, indirectamente causan algún tipo de pérdida auditiva temporal (hipoacusia) o pueden causar pérdidas auditivas temporales, que son irreversibles. Dicho esto, el presente artículo es el resultado de una revisión sistemática exploratoria sobre temáticas importantes a considerar en el momento de estudiar el ruido y sus efectos en la salud (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017).

Los siguientes puntos son algunas de las evidencias que muestran cómo la exposición a ruido puede llegar a perjudicar a la población. En base a estos hallazgos se elaboraron los objetivos de este artículo.

- Detallar cómo el fenómeno del ruido interfiere en la sordera inducida por medio de describir cómo funciona su percepción y señalar el rol de los órganos auditivos que logran convertir las vibraciones percibidas en el sonido que el cerebro lo percibe (Chen, K. H., Su, S. Bin, y Chen, K. T, 2020; Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017).
- Analizar estudios que relacionan algunos factores que influyen en la manifestación de algún tipo de daño hacia la salud; como factores ambientales, individuales además de consideraciones al momento de realizar pruebas auditivas (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017; Liberman, 2017).
- Describir algunos de los efectos hacia la salud además de enlistar una serie de recomendaciones y controles que pueden ser aplicados en un lugar de trabajo (Azizi, 2010; Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017).

Metodología

La metodología principal que se utilizó para la elaboración de este documento consistió básicamente en la búsqueda electrónica de recursos relacionados con “pérdida auditiva ocupacional”, añadiendo los operadores booleanos AND junto a los términos “factores” o “salud” en páginas como *PubMed*, *Scopus* y *Google Scholar*.

En las primeras búsquedas, los documentos recuperados mostraban reseñas sobre los distintos aspectos de la pérdida auditiva entre grupos de trabajadores. La investigación más relevante sobre esta búsqueda fue “*An overview of occupational noise-induced hearing loss among workers: epidemiology, pathogenesis and preventive measures*” (Chen, K. H., Su, S. Bin, y Chen, K. T, 2020). Este documento presentó una reseña muy amplia sobre los efectos y la patogénesis sobre la percepción de ruido, además de mencionar maneras en que, dependiendo del tipo de ruido y de factores individuales (edad, género, tiempo de exposición, etc.) de las personas, el daño auditivo puede afectar ciertas frecuencias en las que las personas escuchan.

A partir de todos estos hallazgos, se decidió realizar más búsquedas en los mismos recursos, pero utilizando los operadores booleanos: “*Noise Induced Hearing Loss (NIHL) AND factors OR age OR gender AND controls OR recommendations*”. El motivo por el que se utilizaron términos en inglés en la búsqueda fue debido a que la gran mayoría de los estudios relacionados con pérdida auditiva y sus factores estaban escritos en esta lengua. Como último filtro dentro de la búsqueda realizada, se tomaron en cuenta artículos publicados desde el año 1980 hasta el 2021.

Resultados y Discusión

La larga exposición del sistema auditivo a ambientes que producen altos niveles de ruido puede causar pérdida auditiva, lo que se denomina como *"Noise Induced Hearing Loss"* (NIHL) y los efectos resultantes pueden ser leves, como una fatiga auditiva, de la cual una persona puede recuperarse por medio de alejarse del ambiente ruidoso, pero si la exposición es prolongada, los efectos en la salud pueden llegar a producir daños irreversibles. La manera en la que el ruido afecta a las personas también depende de otros factores, entre ellos las características individuales (edad, género, estilo de vida), además del tiempo de exposición y el nivel de ruido que es emitido. Estos constituyentes juegan un papel importante en el nivel de daño que ocurra en el individuo (Ding, T., Yan, A., y Liu, K. 2019).

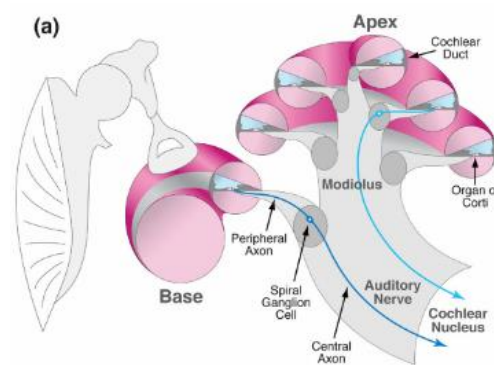


Figura 1. Esquema de los huesos del oído medio. Vista corte de la cóclea espiral además de dos fibras nerviosas auditivas. Fibra de alta frecuencia (azul) y fibra de baja frecuencia (cian).

Fuente: Liberman, 2017.

Fisiopatología de la pérdida de oído inducida por ruido.

Analizar completamente la pérdida auditiva mediante la presencia de ruido resulta ser una tarea muy compleja, ya que su manifestación en el cuerpo depende de la interacción de factores genéticos y ambientales; además del daño biológico causado por la exposición. Lo que sí es claro, es que cuando se trata de ruido lo que se analiza es energía emitida. A partir de este principio, cuanto mayor sea el nivel de energía que sea emitido, el daño que produzca será igual de grande (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017).

El factor más determinante en el nivel de daño que puede llegar a causar la exposición a ruido es la edad. La prevalencia de la pérdida auditiva por edad *"Age-Related Hearing Loss"* (AHL) ha aumentado juntamente con la expectativa de vida, y esto se encuentra relacionado con la pérdida auditiva producido por ruido en los lugares que han crecido industrialmente. Tanto pérdida auditiva por edad como la pérdida auditiva producido por ruido son ejemplos de pérdidas auditivas sensorineurales que producen un daño en la parte del oído interno (Liberman, 2017).

Para poder entender esto de mejor manera, hay que saber que el oído humano está compuesto por tres partes que son: oído externo, oído medio y oído interno. Tanto el oído externo como el interno poseen células llamadas *células pelo*, que tienen como función regular la sensibilidad de la presión de energía producida por el sonido percibido, lo que produce que estas células vibren. Esta percepción ocurre primero en el oído externo, en donde el impulso de sonido recibido luego es transmitido hacia el oído medio a través del canal auditivo hasta llegar a la membrana timpánica. Finalmente, por medio de los huesos yunque, martillo y estribo, las vibraciones apreciadas llegan al oído interno en donde las células pelo de ahí vibran, generando impulsos eléctricos que, por medio de fibras nerviosas auditivas, envían impulsos eléctricos que luego son interpretadas por el cerebro (Chen, K. H., Su, S. Bin, y Chen, K. T, 2020; Liberman, 2017).

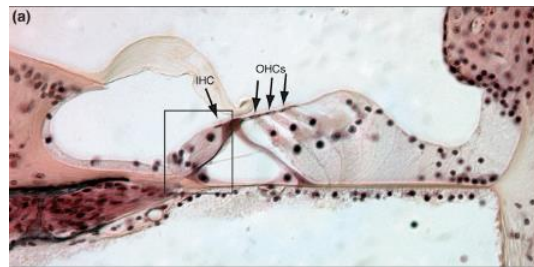


Figura 2. *Micrografía del órgano Corti según material de histología. Se pueden apreciar las terminales periféricas de las fibras nerviosas auditivas de las células pelo internas (IHC).*
Fuente: Liberman, 2017.

En un principio, se creía que la sordera se producía cuando las células pelo se destruían, pero estudios han demostrado que, dependiendo de la exposición y el nivel de ruido, las conexiones sinópticas entre las células pelo y el oído interno pueden destruirse, incluso, antes de causar algún daño en las mismas células (Liberman, 2017).

Factores asociados

En base a los artículos examinados, los factores con mayor influencia son los siguientes:

- **Factores ambientales.** La pérdida auditiva puede ser causada por una exposición a ruido originado en el ambiente; ya sea este laboral, deliberado o no. De igual manera, dependiendo de las propiedades del sonido emitido, los daños pueden ser diferentes. Para poder entender esto de mejor manera hay que saber que el ruido emitido puede ser de dos tipos, dependiendo de la cantidad de energía liberada en función del tiempo. El ruido puede ser continuo o de impulso. La diferencia más notable es que el ruido continuo libera energía a lo largo de amplios periodos de tiempo. Esta energía puede fluctuar y variar entre sus límites, pero de por sí es una exposición durante una jornada laboral dentro de una fábrica o empresa, por ejemplo. Esta exposición es más probable que cause daños en el oído interno además de deteriorar las células pelo externas "*Outer Hair Cells*" (OHC) (Liberman, 2017).

Por otra parte, el ruido impulso libera gran cantidad de energía en un corto período de tiempo. Un ejemplo claro de este fenómeno ocurre con las personas de servicio militar o policial ya que, al momento de usar armas de fuego, el ruido emitido por el arma disparada puede llegar a sobrepasar los 185 dB. Esta gran cantidad de energía puede producir la ruptura

del tímpano y la desarticulación de los tres huesos más pequeños dentro del canal auditivo (yunque, martillo y estribo) (Liberman, 2017). Este tipo de ruido es más perjudicial que el ruido estable (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017). Mientras mayor sea la duración del impulso, mayor puede ser la prevalencia de pérdida auditiva (Lie et al., 2016).

Los efectos en el canal auditivo debido a la exposición a ruido, ya sea continuo o de impulso, se los relaciona generalmente con algún tipo de trauma acústico antes de que sean catalogados como "pérdida auditiva" cuando el daño es severo e irreversible. Este trauma acústico puede ser de dos formas dependiendo del daño producido (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017).

Estas son:

1. Temporal. *Temporary threshold shifts* (TTS): El daño producido en el oído puede recuperarse luego de alejarse de la exposición por un periodo entre 24 y 48 horas. Hay que tener en cuenta que, en personas jóvenes, esta recuperación puede ser total.
2. Permanente. *Permanent threshold shifts* (PTS): Este tipo de daño, aunque la literatura indica que puede existir una recuperación de los niveles de escucha de las personas, puede producir daño en las conexiones sinópticas de los órganos neurosensoriales. El daño es mucho más peligroso cuando logra afectar las células pelo internas "*Inner Hair Cells*" (IHC).

- **Género y edad.** De la literatura estudiada se pudo ver que los factores que más influyen dentro de lo que es la pérdida auditiva son el género y la edad, aparte de la misma intensidad y tiempo de exposición a ruido. Para poder comprender estos resultados de mejor manera hay que entender cómo funciona el proceso de evaluación de la capacidad auditiva en las personas. Básicamente, la manera en la que las pruebas auditivas funcionan está en dividir el espectro de sonido que los humanos pueden escuchar (de 20 Hz a 20 kHz) en intervalos de octavas. Estos intervalos comúnmente representan las frecuencias de 0.25, 0.5, 1, 2, 4 y 8 kHz (aunque dependiendo del interés del estudio, estas frecuencias pueden ser diferentes) (Liberman, 2017).

Para cada rango de frecuencia se presenta un sonido, tanto para el oído izquierdo como para el derecho y se procede a registrar los valores límites, en decibeles, para los cuales existe alguna respuesta por parte de los oídos de cada individuo a cada una de las seis frecuencias (Hwi Park, Y., Shin, S. H., Wan Byun, S., y Yeon Kim, J. 2016).

Hay que considerar que cuando se evalúa sonido, la unidad que se utiliza son los decibeles (dB) y esta es de orden logarítmico. En pocas palabras, para entender mejor cómo es el comportamiento de este fenómeno, por cada aumento de 20 dB, existe un aumento en la onda de sonido por un factor de 10 (x10) (Liberman, 2017). A partir del análisis del comportamiento de este fenómeno es que han surgido regulaciones en las que tratan de que la exposición límite a ruido sea de 85 dB en un periodo de 8 horas (Liberman, 2017).

Algunos estudios han tratado de relacionar cómo estas variables de género y edad afectan la percepción auditiva en las personas. En este sentido, se hará referencia a dos estudios realizados en distintas poblaciones.

En la investigación "*Occupational Noise Exposure And Hearing Loss: A Systematic Review*" (Lie et al., 2016) lo que se pretendía era brindar una reseña sistemática de cómo funciona NIHL, para lo cual se revisaron un total de 3735 artículos y algunos de los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

Tabla 1.

Hallazgos principales del artículo: “Occupational Noise Exposure And Hearing Loss: A Systematic Review”

Hallazgos	
Se cree que, debido a la exposición a ruido, existe una mayor pérdida auditiva en las frecuencias de 0.5 hasta 2 kHz. O de 0.5 hasta 4 kHz.	
A mayor edad, los valores límite de respuesta auditiva aumentan. Esta diferencia es más notoria en las frecuencias de 3 a 8 kHz.	
Existe mayor sordera en hombres que en mujeres.	
Si existe una exposición continua a 85 dB por un periodo de 8 horas, las frecuencias más afectadas son entre 3 y 6 kHz.	Si la exposición a los 85 dB. permanece por un tiempo de 10 años, el límite auditivo aumenta en 4 dB.
	Si la exposición a los 85 dB. permanece por un tiempo de 40 años, el límite auditivo aumenta en 5 dB.
Efectos de exposición a ruido impulso en hombres:	
En los hombres de edades entre 45 y 64 años, el límite auditivo incrementa en 8 dB. en las frecuencias de 3 a 8 kHz.	
En los hombres mayores a 64 años, el límite auditivo aumenta en 7 dB. en las frecuencias de 2 a 8 kHz.	
Efectos de exposición a ruido impulso en mujeres:	
En las mujeres de edades mayores a 64 años, el límite auditivo aumenta entre 4 a 6 dB. en las frecuencias de 3 a 8 kHz.	

Fuente: Lie et al., 2016.

Un segundo estudio de gran relevancia que fue revisado es: “Age - and Gender – Related Mean Hearing Threshold in a Highly Screened Population: The Korea National Health y Nutrition Examination Survey 2010-2012” (Hwi Park, Y., Shin, S. H., Wan Byun, S., y Yeon Kim, J. 2016). Esta investigación lo que buscó fue identificar la media de los valores límite de respuesta auditiva, en una población de Corea del Sur, a partir del estudio de sus características según la edad y género.

En la tabla 2 se muestra los hallazgos principales del artículo anteriormente mencionado.

Tabla 2.

Hallazgos principales del artículo: “Age - and Gender – Related Mean Hearing Threshold in a Highly Screened Population: The Korea National Health y Nutrition Examination Survey 2010-2012”

Hallazgos

Al analizar los resultados de las frecuencias de 0.5, 1 y 2 kHz., no existía mucha diferencia en los valores límites, a partir del género de las personas; sin embargo, para el caso de los hombres mayores a 30 años, los niveles límite en las frecuencias de 3, 4 y 6 kHz. eran significativamente peor que las mujeres.

La diferencia de respuesta era más notoria, por género, en los rangos de edades de 60 a 69 años, pero esta brecha disminuía en los grupos de edades de 70 a 79 y de 80 a 85 años.

La mayor diferencia en los valores límite se dio en la frecuencia de 4 kHz.

A mayor edad de las personas, independientemente del género, mayor era el incremento de los valores límite. (Figura 3 y Figura 4)

A mayor frecuencia de ruido, mayor era la pérdida auditiva.

Fuente: Hwi Park, Y., Shin, S. H., Wan Byun, S., y Yeon Kim, J., 2016

En la figura 3 se muestran los límites auditivos tanto en hombres como en mujeres. En los dos estudios se puede ver que, a mayor edad de los individuos, la respuesta a la que se registran estímulos límite también es mayor. Otro descubrimiento es que el rango de frecuencia que presenta más daño, o mayor diferencia en la percepción de ruido, entre hombres y mujeres es la frecuencia de 4 kHz. Se asume que esto ocurre por factores socio ambientales ya que los hombres se encuentran más expuestos a ruido que las mujeres, debido a las actividades laborales que realizan. Algo que apoya esta hipótesis es que luego de los 70 años, después de haberse retirado, los límites auditivos disminuyen (Hwi Park, Y., Shin, S. H., Wan Byun, S., y Yeon Kim, J. 2016).

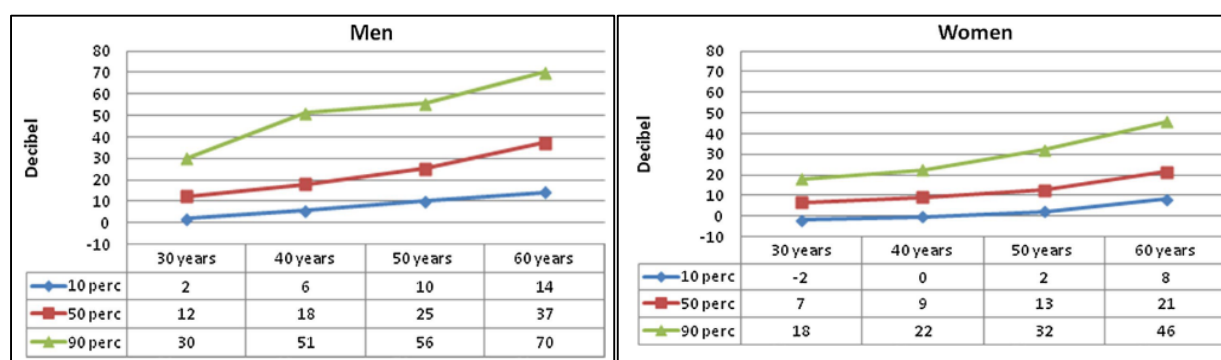


Figura 3. Límites auditivos previstos en hombres. Percentiles 10, 50 y 90 Basado en ISO 1999 (1990) (Liberman, 2017).

Así mismo, otro motivo por el que existe mayor diferencia en las frecuencias alrededor de 4 kHz, es porque en este rango funciona la resonancia del oído externo y del canal auditivo (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017).

Estudios también muestran que las personas entre edades de 30 a 40 años tienden a presentar problemas en su sensibilidad frente a las frecuencias altas, y cuando sobrepasan los 40 años, este problema llega a afectar la sensibilidad de las frecuencias bajas (Moore et al., 2014).

Luego de haber analizado literatura referente a la pérdida auditiva para verificar si existe alguna relación con la edad y género de las personas, se puede ver que sí, aunque es muy complicado poder tener una respuesta clara ya que es muy difícil evaluar la cantidad total de sonido a la que una persona se encuentra expuesta a lo largo de su vida, no solo del punto de vista laboral (Lie et al., 2016).

Aunque la edad y el género resultan ser los factores que más influyen en que desarrolle pérdida auditiva, a parte de la misma exposición a ruido, también hay que considerar que el uso de sustancias ya sea alcohol o tabaco, también pueden ayudar a que se desarrolle algún tipo de trauma acústico (Tang et al., 2008).

La mejor manera de poder estudiar la influencia de estos fenómenos es realizando estudios longitudinales en poblaciones para así ejecutar un seguimiento dentro de un periodo de tiempo. Adicionalmente, el efecto de la edad y el tiempo de exposición han sido variables analizadas en pruebas con animales, ratones para ser más exactos. Como resultados se ha visto que los ratones expuestos a ruidos constantes han presentado algún tipo de trauma acústico temporal (TTS) en donde las células pelo no han presentado ningún daño; sin embargo, las uniones sinápticas presentaron daños de hasta un 50% (Liberman, 2017).

Algunos de los motivos por los que muchas investigaciones usan a roedores como sujetos prueba para entender los efectos de ruido es debido a un factor ético. Para entender la manera en la que el ruido afecta a los sistemas auditivos hay que inducir pérdida auditiva mediante la exposición a ruido a los sujetos prueba, y sería muy poco ético realizar este tipo de pruebas en personas. Es por este motivo que se utilizan roedores, ya que su sistema auditivo tiene una similitud con el sistema humano. Otro motivo por el que los roedores son sujetos prueba es porque su capacidad de escuchar madura luego de haber nacido, a diferencia de la capacidad de escuchar de los humanos que madura antes de nacer. Por este motivo, es más sencillo hacer un seguimiento y ver cómo se manifiestan distintos niveles de ruido en ratas (Escabi, C. D., Frye, M. D., Trevino, M., y Lobarinas, E., 2019).

- Factores genéticos y mecanismos de defensa. Hasta la actualidad no se han realizado estudios que muestren la influencia de factores hereditarios en la pérdida auditiva. Este tipo de estudio presenta un alto nivel de dificultad ya que para poderlo realizar hay que realizar un seguimiento de los niveles de exposición de ruido que afecta a los integrantes de una familia y normalmente estos niveles suelen ser los mismos, lo que complica la recolección de datos (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017).

Como se mencionó antes, el oído humano no fue diseñado para soportar altos niveles de presión acústica. Dicho esto, el cuerpo humano también tiene sus mecanismos de defensa y uno de estos es la generación de proteínas de choque térmico *Heat Shock Proteins* (HSP) (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017). Debido a la larga exposición a altos niveles de ruido se produce una intensa actividad metabólica en la cóclea lo que produce estrés y fatiga en este órgano. Es por esta razón que, como medida de protección, se liberan

una familia de 70 kDa (Kilo Dalton) HSP como mecanismo de defensa ante altas presiones de ruido (Soares et al., 2020).

Estas proteínas son expresadas bajo condiciones fisiológicas y patológicas. Mientras más severas sean las condiciones de presión de ruido, mayor va a ser la expresión de estas proteínas (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017). Complementando estudios realizados en animales, estudios en ratones muestra que existe inhibición de las proteínas HSP cuando existe pérdida auditiva permanente luego de largas exposiciones a ruido (Soares et al., 2020).

- Falta de información en audiometrías. Al momento de realizar evaluaciones de audiometría, los valores que se obtienen son los límites a los cuales las personas muestran algún tipo de respuesta auditiva frente a las frecuencias que son evaluadas. El valor que se obtiene, aunque es un indicador del estado en el que se encuentra la capacidad de escuchar, no muestra el estado en el que se encuentran los órganos internos del oído. En otras palabras, existen variables como el estado de las fibras sensoriales ya que, debido a la exposición de ruido, puede que las células pelo se encuentren bien, pero no se conoce nada sobre el estado de estas uniones neurosensoriales que comunican las distintas partes del oído.

Esta incertidumbre se la conoce como pérdida auditiva escondida "*Hidden Hearing Loss*" (Liberman, 2017). Este daño no es visible al revisar la histopatología coclear porque esta degeneración solo es notable cuando el límite del audiograma excede el 80%. (Liberman, 2017).

Algo que apoya este descubrimiento es la dificultad de escuchar. Por ejemplo, puede que dos personas tengan el mismo resultado de una prueba de audiométrica, pero pueden tener un distinto desempeño en pruebas de hablar. Esto se debe al estado en el que se encuentran los órganos del oído interno (Liberman, 2017).

Existe mucho trabajo por hacer en esta área ya que de por sí, el oído interno no puede ser sujeto de una biopsia y, tanto en animales como en personas, la exposición a ruido puede producir algún daño neural en la cóclea sin necesariamente dañar las células pelo del oído (Liberman, 2017).

Efectos hacia la salud

Claramente, el efecto en la salud más relevante, debido a la exposición de ruido, es producir algún tipo de trauma auditivo, que dependiendo el nivel de intensidad puede llegar a producir pérdida auditiva severa. Típicamente este fenómeno ocurre de manera simétrica; es decir, afecta a los dos oídos por igual. Sin embargo, existe evidencia que esto puede darse de manera asimétrica (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017). Esta evidencia es limitada, pero estudios revelan que, dentro de la población mundial, entre un 4.7% a 36% existe una incidencia de pérdida auditiva asimétrica (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017).

Esta diferencia de percepción auditiva típicamente no supera los 5 dB; sin embargo, si la exposición a altos niveles de ruido persiste, esta diferencia puede verse incrementada comúnmente en las frecuencias más altas (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017).

En base a estudios realizados, se puede ver que el oído izquierdo presenta mayor pérdida auditiva en comparación con el oído derecho. Uno de los motivos por el que se cree que existe una mayor afectación hacia el oído izquierdo es por las posturas que las personas adoptan en el momento de utilizar maquinaria o equipos, ya que la gran mayoría de las personas es diestra. Dicho esto, aún no existe una correlación o evidencia suficiente que

analice este suceso con mayor profundidad (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017; Lie et al., 2016).

Otro motivo por el que se cree que el oído izquierdo es más "débil" es porque el efecto de zumbido o tinnitus tiende a ser magnificado más en este oído que en el derecho. Así mismo, existe una mayor prevalencia de este zumbido en trabajadores que están en presencia de ruido (representa un 24% los que sufren de este fenómeno) en comparación a la población general (que es un 14%) (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017).

El impacto de este zumbido puede llegar a producir otros daños o trastornos en el cuerpo; como por ejemplo ansiedad, depresión, pérdida de percepción, pérdida de memoria, falta de atención y desórdenes al dormir. A su vez, esta molestia auditiva puede llegar a causar estrés social, baja autoestima y dificultad al relacionarse con otras personas, además de efectos en la calidad de vida (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017).

Cuando la pérdida auditiva se da de manera asimétrica puede llegar a ser un gran problema para las personas que desempeñan labores en profesiones de seguridad o carreras que requieran tener mayor atención en el momento de su desempeño (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017).

La larga exposición a altos niveles de presión sonora *Sound Pressure Levels* (SPL) puede traer consigo los siguientes efectos: (Yang et al., 2018)

- Exposición mayor a 90 dB: Daño severo del sistema auditivo además de dolores de cabeza, incremento en la presión sanguínea y otros.
- Exposición mayor a 100 dB: Irritación y dolor en el oído.
- Exposición mayor a 115 dB: Daño en la función de la corteza cerebral.
- Exposición mayor a 175 dB: Resonancia en el corazón, lo que puede llegar a producir la muerte.

Existe también otro factor que también influye en la manera que el ruido afecta a las personas y este es el nivel socioeconómico. Estudios señalan que personas que habitan en países cuyo ingreso económico es medio o bajo, NIHL tiende a afectar aproximadamente al 80% de las personas expuestas. Como ejemplo, en la población trabajadora de Sudáfrica, aproximadamente un 90% de las zonas de trabajo está expuestas a niveles de presión sonora mayores a los 85 dB (Grobler et al., 2020).

En la actualidad aún no existe un tratamiento efectivo contra la pérdida auditiva producida por la exposición a ruido. Esta enfermedad es mejor tratarla cuando se encuentra en sus fases iniciales, ya que cuando ha existido una exposición prolongada durante años, puede resultar ser crónica. Dicho esto, la prevención es la técnica empleada para limitar el deterioro de los órganos auditivos. Una manera en la que se puede aplicar esto de manera ocupacional es por medio de crear ambientes seguros y saludables en el trabajo en donde se pueda monitorear y reducir la exposición por medio de aplicar controles, ya sean estos ingenieriles, administrativos o individuales (Chen, K. H., Su, S. Bin, y Chen, K. T, 2020).

Otro mecanismo preventivo es realizar la vigilancia de la condición auditiva de los trabajadores. Si se detecta algún tipo de hipoacusia temprana, puede ser tratada por medio de cuidar los tiempos de exposición antes de que se produzcan problemas irreversibles en el futuro (Chen, K. H., Su, S. Bin, y Chen, K. T, 2020).

Sobre el control de ruido se recomienda tener un establecimiento de trabajo en donde el ruido se encuentre por debajo de los 80 dB. Así mismo, si el ruido de un lugar aumenta o disminuye, tratar en lo posible que sea en rangos de 3 dB para que no afecte bruscamente a la percepción de las personas (Chen, K. H., Su, S. Bin, y Chen, K. T, 2020).

Actualmente, la medicina se encuentra buscando alternativas, como aplicar terapias farmacéuticas que pueden llegar a ayudar a restaurar las conexiones sinápticas, aunque por el momento estos procesos recién se encuentran en su fase de investigación. Se espera que en el futuro este tipo de tratamientos puedan llegar a restaurar las conexiones neurales entre los nervios auditivos y las IHCs, aunque hay que considerar que, para este tipo de tratamientos, hay que tener mucho cuidado con los distintos factores que intervienen en la susceptibilidad de ruido entre los modelos en animales y en humanos (Le Prell, C. G., Hackett, T. A., y Ramachandran, R. 2020). Pero esto, sin duda, resultaría ser una solución a la problemática de pérdida auditiva en el futuro.

Finalmente, hay que tener en cuenta que cuando los controles no son lo suficientemente eficaces para disminuir el nivel de ruido en el ambiente, los controles individuales (uso de equipo de protección personal - EPP) son una muy buena alternativa, pero para que su uso sea efectivo hay que brindar capacitaciones, educar y motivar al uso correcto de los equipos a las personas en base a normativas y documentos estandarizados, ya que si no se los utiliza de manera correcta, se puede causar una sensación falsa de seguridad y puede ser igual de peligroso que la exposición al ruido emitido (Chen, K. H., Su, S. Bin, y Chen, K. T, 2020; Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017).

Hay que tener en cuenta que los EPP son medidas de protección secundarias. Si son utilizadas de manera adecuada son eficientes. Algo importante a considerar es el confort que el uso de estos equipos, por ejemplo, las orejeras o tapones, puede generar. Es mucho más efectivo usar equipos que produzcan una baja atenuación de sonido, pero tienen gran confort, que equipos que produzcan una mayor atenuación, pero poco confort en su uso (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017).

Se recomienda realizar investigaciones para crear equipos que no sean pesados, pero garanticen un alto nivel de confort, además de un alto nivel de efectividad (Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. 2017). Esto apoya al descubrimiento que indica que el uso de EPP sí presenta una solución a corto plazo, sin embargo, hay que realizar más estudios de esta problemática a largo plazo, ya que la evidencia aún es limitada (Kateman et al., 2007).

La pérdida auditiva de manera ocupacional resulta ser uno de los problemas más registrados a nivel mundial, es por esta razón que el presente artículo buscó dar una breve reseña sobre la manera en la que la exposición a ruido puede producir algún tipo de trauma auditivo, el mismo que si no se lo logra tratar desde una etapa inicial, puede llegar a producir daños irreversibles en la capacidad neurosensorial de las personas expuestas, además de otros daños a la salud. Adicional a esto, es importante conocer las propiedades del ruido ya que, a partir de esto, se puede saber qué tipo de controles se pueden aplicar con la finalidad de disminuir la presión sonora emitida por cualquiera que sea la fuente de interés.

Adicional a esto, el presente artículo detalla algunos de los factores que son de suma importancia en el momento en que se desarrolle algún tipo de trauma acústico, aunque es claro que sobre este tema aún falta hacer mucha investigación para poder concretar con ciertas asunciones, por lo que se recomienda realizar estudios en poblaciones para ver cómo se desarrolla este fenómeno a través de un seguimiento continuo.

Conclusiones

La pérdida auditiva de carácter ocupacional resulta ser una de las enfermedades más registradas a nivel mundial. Es por esta razón que el presente artículo tuvo como propósito presentar una síntesis sobre tres facetas del ruido que fueron: la fisiopatología, factores influyentes y recomendaciones. Para esto se brindó un resumen de algunos de los factores y características del sonido y puntos a considerar en el momento de analizar la pérdida auditiva originada por la exposición a ruido.

Entre los factores más determinantes se encuentran la edad y el género de las personas expuestas, además del tiempo de exposición y el nivel de presión sonora liberado por la fuente. Estos puntos, juntamente con algunas características individuales de las personas, influyen en el nivel de trauma auditivo que puede llegar a producirse. Es por este motivo que hay que tomar en cuenta la prevención como una de las soluciones más eficaces ya que cuando de ruido se trata, hay que tratar de brindar los cuidados y controles respectivos desde una etapa inicial, para que la salud de las personas afectadas no empeore, a tal punto de generar problemas irremediables como una pérdida auditiva permanente.

Recomendaciones

Como se mencionó antes, una de las mejores maneras de poder estudiar la pérdida auditiva es por medio de un estudio longitudinal dentro de alguna población. Las variables de interés pueden ser el género, la edad, la ocupación y el tiempo de exposición a cierto ruido, además de conocer las propiedades de este último.

Realizar este tipo de estudios, lo que permite es hacer un seguimiento de la enfermedad en los pacientes, además de conocer si es necesario realizar algún tipo de intervención temprana para cuidar a las personas. Aunque estas medidas pueden resultar ser muy generales, si se las aplica de la mejor manera pueden ser eficientes como por ejemplo al aplicar controles ingenieriles, administrativos e individuales (uso de EPP).

Sobre este último control es necesario realizar capacitaciones, educar y generar conciencia para que el uso de los equipos de protección sea el correcto porque si no se los usa de la mejor manera, puede ser igual de dañino que la misma exposición a ruido. Adicionalmente, una de las problemáticas que se busca solucionar a futuro es crear equipos protectores que sean igual de eficientes que cómodos en el momento de usarlos.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Referencias

- Azizi, M. H. (2010). Occupational noise-induced hearing loss. *The International Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 1(3), 116–123. Recuperado de: <https://doaj.org/article/7bdc06bddffb4bdaa35bfb9fc1bd336>
- Chen, K. H., Su, S. Bin, y Chen, K. T. (2020). An overview of occupational noise-induced hearing loss among workers: epidemiology, pathogenesis, and preventive measures. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 25(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12199-020-00906-0>
- Ding, T., Yan, A., y Liu, K. (2019). What is noise-induced hearing loss? *British Journal of Hospital Medicine*, 80(9), 525–529. <https://doi.org/10.12968/hmed.2019.80.9.525>

- Escabi, C. D., Frye, M. D., Trevino, M., y Lobarinas, E. (2019). The rat animal model for noise-induced hearing loss. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 146(5), 3692–3709. <https://doi.org/10.1121/1.5132553>
- Grobler, L. M., Swanepoel, D. W., Strauss, S., Becker, P., y Eloff, Z. (2020). Occupational noise and age: A longitudinal study of hearing sensitivity as a function of noise exposure and age in south african gold mine workers. *South African Journal of Communication Disorders*, 67(2), 1–7. <https://doi.org/10.4102/sajcd.v67i2.687>
- Hong, O. S., Kerr, M. J., Poling, G. L., y Dhar, S. (2013). Understanding and preventing noise-induced hearing loss. *Disease-a-Month*, 59(4), 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.disamonth.2013.01.002>
- Hwi Park, Y., Shin, S. H., Wan Byun, S., y Yeon Kim, J. (2016). Age- And Gender-Related mean hearing threshold in a Highly-Screened population: The Korean national health and nutrition examination survey 2010-2012. *PLoS ONE*, 11(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150783>
- Imam, L., y Alam Hannan, S. (2017). Noise-induced hearing loss: A modern epidemic? *British Journal of Hospital Medicine*, 78(5), 286–290. <https://doi.org/10.12968/hmed.2017.78.5.286>
- Kateman, E., Verbeek, J., Morata, T., Coolsma, B., Dreschler, W., y Sorgdrager, B. (2007). Interventions to prevent occupational noise induced hearing loss. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 1. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006396>
- Le Prell, C. G., Hackett, T. A., y Ramachandran, R. (2020). Noise-induced hearing loss and its prevention: current issues in mammalian hearing. *Current Opinion in Physiology*, 18, 32–36. <https://doi.org/10.1016/j.cophys.2020.07.004>
- Le, T. N., Straatman, L. V., Lea, J., y Westerberg, B. (2017). Current insights in noise-induced hearing loss: a literature review of the underlying mechanism, pathophysiology, asymmetry, and management options. *Journal of Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 46(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40463-017-0219-x>
- Lieberman, M. C. (2017). Noise-induced and age-related hearing loss: New perspectives and potential therapies. *F1000Research*, 6(0), 1–11. <https://doi.org/10.12688/f1000research.11310.1>
- Lie, A., Skogstad, M., Johannessen, H. A., Tynes, T., Mehlum, I. S., Nordby, K. C., Engdahl, B., y Tambs, K. (2016). Occupational noise exposure and hearing: a systematic review. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 89(3), 351–372. <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1083-5>
- Moore, D. R., Edmondson-Jones, M., Dawes, P., Fortnum, H., McCormack, A., Pierzycki, R. H., y Munro, K. J. (2014). Relation between speech-in-noise threshold, hearing loss and cognition from 40-69 years of age. *PLoS ONE*, 9(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107720>
- Royster, J. D. (2017). Preventing Noise-Induced Hearing Loss. *NC Med* 78(2), 113–117. <https://doi.org/10.18043/ncm.78.2.113>
- Smith, K. R., y Pillariseti, A. (2017). Household Air Pollution from Solid Cookfuels and Its Effects on Health. *Disease Control Priorities, Third Edition (Volume 7): Injury Prevention and Environmental Health*, 133–152. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0522-6_ch7
- Soares, M., Santos, A. B. do., Weich, T. M., Mânica, G. G., Homem de Bittencourt, P. I.,

- Ludwig, M. S., y Heck, T. G. (2020). Heat shock response in noise-induced hearing loss: effects of alanyl-glutamine dipeptide supplementation on heat shock proteins status. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 86(6), 703–710. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2019.04.012>
- Tambs, K., Hoffman, H., Borchgrevink, H., Holmen, J., y Engdahl, B. (2006). Hearing loss induced by occupational and impulse noise: Results on threshold shifts by frequencies, age and gender from the Nord-Trøndelag Hearing Loss Study. *International Journal of Audiology*, 45(5), 309–317. <https://doi.org/10.1080/14992020600582166>
- Tang et al., 2005. (2008). 基因的改变NIH Public Access. *Bone*, 23(1), 1–7. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X.Auditory](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X.Auditory)
- Yang, Y., Zhang, E., Zhang, J., Chen, S., Yu, G., Liu, X., Peng, C., Lavin, M. F., Du, Z., y Shao, H. (2018). Relationship between occupational noise exposure and the risk factors of cardiovascular disease in China A meta-analysis. *Medicine (United States)*, 97(30). <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000011720>