



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

**ESCUELA DE BIOLOGÍA**

**Evaluación preliminar de la Contaminación Acústica, en  
vialidades con alta afluencia vehicular de la zona urbana de  
Puebla.**

**Tesis que para obtener el título de**

**LICENCIATURA EN BIÓLOGIA**

**PRESENTA:**

**Flor Rosario Bañuelos Gutiérrez**

**DIRECTOR: Dr. Salvador Galicia Isasmendi**



**JUNIO 2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

Para mí es un verdadero placer utilizar este espacio para expresar mis agradecimientos.

Debo agradecer de manera especial y sincera al Doctor Salvador Galicia Isasmendi por aceptarme para realizar esta tesis en su laboratorio. Sobre todo por la paciencia y confianza que me brindo, su valiosa dirección y apoyo para seguir este camino y llegar a la conclusión del mismo.

Las ideas, y su orientación, han sido la clave del buen trabajo que hemos realizado juntos en esta tesis, el cual no se puede concebir sin su siempre oportuna participación.

Le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis. Muchas gracias Doctor y espero seguir trabajando con usted en este gran proyecto.

Así como también agradezco a mis revisores a la M. C. Guadalupe Díaz Carranza y al Dr. Reyes Lazalde Arturo por las observaciones y sus aportaciones a mi tesis.

Finalmente agradecer a mi hermosa familia y a mis amigos que siempre han estado conmigo en todo momento.

## **DEDICATORIA**

Esta tesis la quiero dedicar a tres personas especiales en mi vida:

A mis dos hijos a Flor Aisha y a Said

Y a una persona que amo demasiado y que no se encuentra presente físicamente, esa persona es mi papá el Sr. Justino Bañuelos Zamora.

# ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>RESUMEN .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                                    | <b>3</b>  |
| <b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>                       | <b>6</b>  |
| <b>HIPÓTESIS .....</b>                                       | <b>7</b>  |
| <b>OBJETIVO GENERAL.....</b>                                 | <b>7</b>  |
| <b>OBJETIVOS PARTICULARES.....</b>                           | <b>7</b>  |
| <b>MARCO TEORICO .....</b>                                   | <b>8</b>  |
| <b>1. Propiedades Físicas del Sonido .....</b>               | <b>8</b>  |
| 1.2. Resonancia .....  | 12        |
| 1.3. Potencia e Intensidad de las Ondas Sonoras.....         | 14        |
| <b>2. Aspectos Generales de la Fisiología Auditiva. ....</b> | <b>16</b> |
| 2.1 El oído externo.....                                     | 17        |
| 2.2. El Oído medio .....                                     | 24        |
| 2.3 El Oído Interno.....                                     | 25        |
| <b>MATERIAL Y MÉTODO.....</b>                                | <b>35</b> |
| <b>RESULTADOS.....</b>                                       | <b>38</b> |
| <b>DISCUSIÓN. ....</b>                                       | <b>42</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA. ....</b>                                    | <b>50</b> |

## RESUMEN

La contaminación auditiva es uno de los factores principales, de malestar y riesgos a la salud en las grandes urbes. Desafortunadamente es un área olvidada en su seguimiento y evaluación así como en su prevención. En las áreas urbanas el ruido se encuentra relacionado principalmente con el tráfico de automotores. Los disturbios del sueño, el estrés y la pérdida auditiva no son los únicos efectos sobre la salud, incluyen a las cardiovasculares, problemas cognitivos y tinitus se han incrementado en los últimos años (De Esteban Alonso, 2003; Peña, 2008).

Dada la falta de datos sobre la exposición al ruido en la ciudad de Puebla, una de las ciudades más importantes en México, se decidió realizar un estudio sobre el ruido asociado al tráfico en vialidades de primer y segundo orden durante las horas pico en el periodo 2010-11. Los datos fueron comparados además con registros realizados cuatro años después (2015) sobre vialidades en las cuales hubo cambios importantes en las variables asociadas a la producción de ruido: Introducción de transportes articulados, reducción de rutas de transporte y redistribución del transporte hacia otras vialidades de segundo orden.

Nuestros resultados indican un ruido generalizado de gran amplitud por encima del límite recomendado ( $91 \pm 5$  dB) en ambos periodos de tiempo analizados (2010-11 y 2015). El ruido fue observado en las vialidades grandes en asociación a la incidencia de tráfico pero también se encuentra influido por las características de las construcciones aledañas, en calles de segundo orden se encontraron incluso valores máximos de sonido (109 dB; 9 norte-sur).

El ruido acústico estuvo compuesto de frecuencias bajas centradas en 1KHz y ocupando la mayor parte de la escala audible ( $<10$  KHz). La extensión del ruido puede predecirse entonces como afectando una gran extensión de la cóclea lo que vuelve particularmente agresiva a la contaminación acústica.

Para el periodo 2015 se observó que la introducción del transporte articulado redujo en aproximadamente  $6 \pm 1$  dB la magnitud del ruido acústico, pero en aquellas vialidades de segundo orden donde el flujo vehicular fue reconcentrado (15 norte-sur)

se observan niveles de contaminación auditiva semejantes a las de cualquier otra vialidad de primer orden ( $\approx 90$  dB).

Estudios como el presente son importantes para proporcionar soporte técnico a los desarrolladores de políticas sobre la evaluación del riesgo por contaminación auditiva con base en evidencias y a datos disponibles, así como para proteger la salud de la población y reducir las posibles fuentes de trastornos fisiológicos, en particular pérdida de la audición, la cual es grave porque dadas las características del oído en los mamíferos es de tipo irreversible.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación auditiva es un problema de salud que no ha recibido la atención debida en cuanto a su prevención y estudio, el ruido es un estímulo no placentero que puede afectar de forma negativa la calidad de vida, al interferir en actividades diversas que incluyen la concentración, la comunicación, el descanso y el sueño (Stansfeld y Matheson, 2003; Rylander, 2004).

La contaminación auditiva tiene efectos psicológicos, el ruido tiene un impacto en la salud pública, particularmente en relación a una disminución de las capacidades auditivas y a problemas de tipo cardiovascular (Van et al. 2002; Tanaka, 2009).

La exposición crónica a niveles de presión de sonido de 100 o más decibelios (dB) genera pérdida de la sensibilidad auditiva, efecto que se ve agravado por el hecho de que el oído es incapaz de recuperar la sensibilidad perdida dado que las células sensoriales del oído no se regeneran (Oghalai, 2004; Henderson, 2006).

En las células ciliadas externas la unión de los estereocilios con la membrana tectoria puede ser rota incluso con una exposición ligera al ruido (85 dB), conduciendo a una pérdida temporal de la audición. Con una exposición mayor el núcleo de actina de los estereocilios puede fracturarse o incluso ocurrir la muerte de la célula ciliada externa si el daño es mayor y esto llevaría a la pérdida definitiva de la audición (Oghalai, 2004; Henderson, 2006).

En México, existe preocupación por el problema de la contaminación auditiva ya que dentro de las NOMs-79(80)-SEMARNAT-1994 que contemplan los decibelios permitidos se establece un rango de 79 a 84 dB, de acuerdo al peso bruto vehicular en cuanto a fuentes móviles.

En otros trabajos desarrollados por instituciones como el Tecnológico de Monterrey, uno sobre “Contaminación Acústica en Puebla” (Zamora, 2012) y otro en el segundo piso de la autopista México-Veracruz, ambos realizados por el Profesor Said Robles Director de la Maestría en Ingeniería Automotriz, se obtuvieron valores de ruido mayores a lo recomendado por la OMS 85 dB (Universal, 2015).

Por otra parte, el catedrático Enrique Montiel Piña de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), realizó un estudio sobre las viviendas de interés social ubicadas cerca de la autopista México-Puebla en las que encontró que las características de estas no son adecuadas para reducir los ruidos externos. Sin embargo su equipo de trabajo propone modificaciones en el diseño arquitectónico para aislar a las viviendas de la contaminación sonora (modificaciones consistentes en la inclusión de membranas aislantes especiales en la estructura de las paredes), ya que en esas zonas muchos de sus habitantes presentan problemas de audición, los cuales se deben al ruido excesivo generado por el denso tránsito que caracteriza a esa vialidad; El catedrático menciona también que en México es normal que se pueda escuchar la televisión o las conversaciones de los vecinos en las casas aledañas lo cual indica el alto nivel de sonido con que estas se producen, lo cual debe evitarse (Notimex, 2016).

Otro catedrático de la BUAP y periodista, Alfonso Yáñez Delgado, publicó un libro llamado “Contaminación sónica en sitios patrimoniales”, en la que señaló que “el ruido es un agente de deterioro ambiental que atañe al medio físico transformado y al ser humano que habita en las grandes ciudades. En dicha obra monitoreo y midió fuentes fijas y móviles durante un mes, en las avenidas Reforma y Juan de Palafox y Mendoza, entre la 11 Sur y el bulevar 5 de Mayo, para determinar los niveles de

ruido, en las que encontró, por ejemplo, que el valor medio final del nivel sonoro<sup>6</sup> equivalente en nueve horas en fuentes fijas –como comercios- fue superior a los 80 dB, 12 puntos arriba del máximo permisible que es de 68 dB según la OMS; mientras que las fuentes móviles presentan un valor medio final en el rango permisible en casi todos los puntos monitoreados, a excepción de la esquina que forman la avenida Reforma y la 9 Norte-Sur; Yáñez Delgado comentó además que de acuerdo con cifras oficiales en el mundo hay 70 millones de personas sordas, 80 por ciento de las cuales viven en países en vías de desarrollo (Noticias, 2013).

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ciudad de Puebla y zonas conurbadas se consideran zonas con un alto índice de contaminación acústica debido a diferentes fuentes fijas y fuentes móviles como los autos compactos, el transporte público; camionetas y vehículos de carga pesada.

La contaminación acústica refiere al exceso de sonidos que alteran las condiciones normales de determinados ambientes o entornos. Sus principales fuentes son las actividades humanas como el tránsito, la industria, los lugares de ocio -bares y discotecas-, las cuales producen efectos negativos sobre la salud auditiva, física y mental, no sólo de las personas, sino de todos los seres vivos (Zamora, 2012).

Dada la extensión y tamaño poblacional del municipio de Puebla así como la ausencia de antecedentes sobre la contaminación auditiva, en esta investigación se monitorearon vialidades de primer y segundo orden<sup>1</sup> en horas pico que permitieron conocer, en un estudio prospectivo, la magnitud del ruido acústico al cual pudiese estar sometida la población, en los sectores Nor-Poniente, Nor-Oriente, Sur-Poniente y parte del sector Sur de la zona centro de la ciudad de Puebla (Puebla, 2001).

---

<sup>1</sup> Las vialidades primarias están constituidas básicamente por vialidades de 2 a 4 carriles en uno o dos sentidos de circulación y conducen volúmenes vehiculares altos. Las vialidades secundarias colectoras están constituidas básicamente por vialidades de 2 carriles en uno o dos sentidos de circulación, con menor flujo vehicular.

## **HIPÓTESIS**

Dado el tamaño poblacional de la capital del estado de Puebla y la densidad del tráfico urbano deben existir en ella niveles de ruido acústico por encima de los 90 dB, los cuales se reconocen como dañinos para la salud.

## **OBJETIVO GENERAL**

Establecer si existe contaminación auditiva en las vialidades de primer y segundo orden de los primeros cuadros de la ciudad del estado de Puebla.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

Comparar en vialidades de primer y segundo orden en los primeros cuadros de la ciudad de Puebla los niveles de contaminación acústica de acuerdo a la NOM-079-(80) SEMARNAT-1994.

Establecer si existen diferencias significativas entre los niveles de contaminación auditiva de las vialidades más transitadas en los años 2010-2011.

Comparar los niveles de contaminación auditiva que existen en las vialidades en las que se reubicó parte del transporte público, tras la introducción del transporte articulado en el año 2015.

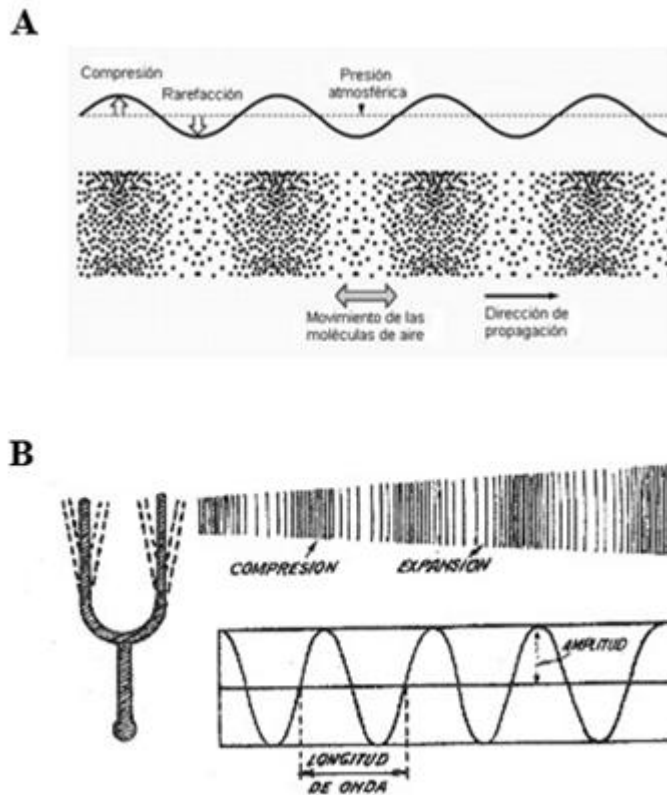
## MARCO TEORICO

### 1. Propiedades Físicas del Sonido

Las ondas sonoras son ondas mecánicas que viajan a través de un medio elástico o deformable, cuando ellas alcanzan una partícula situada en el medio la ponen en movimiento y la desplazan transfiriéndole así energía potencial y cinética, las partículas del medio se mueven al pasar una onda, solo una distancia pequeña respecto de sus posiciones previas sin experimentar un desplazamiento neto en la dirección del viaje de la onda (Blackstock, 2000).

Si suponemos que una membrana tal como la de una bocina se hace vibrar, la vibración producirá dos efectos diferentes sobre las moléculas de aire. En primer término, las moléculas del aire serán desplazadas de su posición inicial y regresarán a esta cuando la membrana complete su primer ciclo de movimiento, efecto que corresponde al componente de desplazamiento del sonido (Figura 1A).

El segundo efecto se refiere al componente de presión del sonido el cual se muestra en la figura 1B, el movimiento de la membrana hacia la derecha comprime a las moléculas y causa un incremento local en la presión del medio, cuando la membrana se mueve a la izquierda la presión cae nuevamente. En la mayor parte de los libros avocados al estudio del sonido el componente de presión es el más estudiado, esto es debido a que los oídos de los seres vivos detectan el componente de presión y no el de desplazamiento (Resnick et al. 2001; Blackstock, 2000).



**Figura 1. Componentes de desplazamiento y compresión en una onda sonora.**

Cuando una onda sonora se produce se generan dos efectos en primer lugar un componente de desplazamiento de las partículas del aire (A), que es acompañado por un segundo efecto que se refiere al componente de presión de las partículas al desplazarse y comprimirse unas con otras, el movimiento de un diapasón (B), por ejemplo, comprime a las moléculas en un sentido (derecha) y causa un incremento local en la presión del medio, cuando el diapasón se mueve a la izquierda la presión cae nuevamente.

Por otra parte existen razones prácticas importantes para ello, ya que de acuerdo con Resnick et al. (2001) un sonido situado en el umbral máximo de presión de la audición humana (umbral del dolor; 28 Pa a 1 kHz) produce un desplazamiento de  $1.1 \times 10^{-5}$  m, un sonido en el umbral mínimo detectable ( $2.8 \times 10^{-5}$  Pa a 1 KHz) produce solamente un desplazamiento de  $1.1 \times 10^{-11}$  m, por tanto los desplazamientos de sonidos audibles son muy pequeños y difíciles de medir directamente.

Las ondas mecánicas pueden ser divididas en dos tipos de acuerdo con la relación que guardan las partículas en movimiento y la dirección de desplazamiento de la onda: la cuerda en tensión que oscila en una guitarra sufre una perturbación que se desplaza a lo largo de la cuerda pero las partículas de la propia cuerda se mueven en ángulos normales a esa propagación por lo que este tipo de onda se denomina transversal (Resnick et al. 1997; Peña, 2008). El tipo de movimiento ondulatorio más simple que podemos estudiar es el movimiento armónico el cual puede describirse mediante funciones seno o coseno (Achenbach, 1999; Blackstock, 2000).

El aire representa para las ondas sonoras un medio aproximadamente no dispersivo, es decir todas las ondas componentes de un sonido complejo viajan a la misma velocidad, si el aire fuese fuertemente dispersivo de las ondas sonoras la conversación sería imposible o al menos distinta de como la conocemos, incluso la música sufriría una importante modificación en la forma de realizarla, ya que no importando el empeño de los músicos para tocar al unísono, las violas y los celos

llegarían hasta nosotros en distintos tiempos, ya que las ondas de baja y de alta frecuencia presentarían velocidades distintas<sup>2</sup> (Fletcher y Rossing, 1991).

### 1.1 Velocidad de Onda.

La velocidad de las ondas en una cuerda musical depende de la masa de un elemento de cuerda  $\mu$  — la masa por unidad de longitud de cuerda — y de la fuerza entre elementos vecinos, la cual corresponde a la tensión, si esta se incrementa ajustando las clavijas de una guitarra podemos esperar que la velocidad de la onda también aumente (Resnick et al. 1997).

Una onda periódica que entra en un medio suele ser consecuencia de una influencia externa que perturba al medio a una cierta frecuencia (Fletcher y Rossing, 1991). La onda que viaja a través de ese medio tendrá la misma frecuencia que la fuente de la onda. La velocidad de la onda está determinada por las propiedades del medio. Dadas la frecuencia  $\nu$  de la onda y su velocidad  $u$  en el medio, la longitud de onda  $\lambda$  está determinada por la relación:  $\lambda = \frac{u}{\nu}$ .

Cuando una onda pasa de un medio a otro de velocidad de onda diferente, por ejemplo dos cuerdas con densidades de masa diferentes o bien del oído externo al interno, la frecuencia en un medio debe ser la misma que la frecuencia en el otro. De otro modo existiría una discontinuidad en el punto de transición entre ambos medios, para lograr esto sin embargo las longitudes de onda deben ser diferentes<sup>3</sup> (Fletcher y Rossing, 1991; Achenbach, 1999; Serra et al. 2012).

---

<sup>2</sup> Las ondas de luz en el vacío son perfectamente no dispersivas; la dispersión de las ondas de luz es la causa de efectos tales como la descomposición de la luz visible en el espectro de colores del arcoíris.

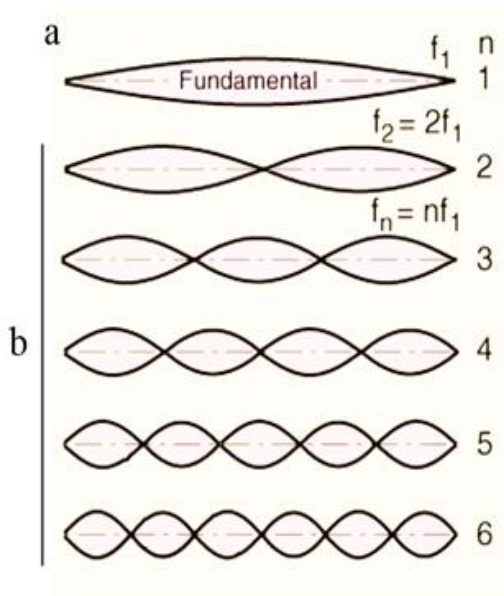
<sup>3</sup> La relación entre las longitudes de onda se deduce de la igualdad de las frecuencias  $\nu_1$  y  $\nu_2$  en ambos medios, i.e.,  $\nu_1 / \lambda_1 = \nu_2 / \lambda_2$ .

## 1.2. Resonancia

Cuando dos o más ondas se combinan en un punto determinado se dice que se interfieren, dicha interferencia puede ser destructiva o constructiva si las fases de las ondas son diferentes o no (Fletcher y Rossing, 1991).

Los puntos con movimiento entre nodos se denominan antinodos y el patrón que ambos conforman corresponde a una onda estacionaria. En este sistema no se transporta energía más allá de los límites de la cuerda ya que estos se encuentran fijos de aquí que la energía permanezca fija sobre la cuerda aunque alternándose entre energía cinética vibratoria y energía potencial elástica (Resnick et al, 1997 y Fletcher y Rossing, 1991).

En la figura 2a podemos observar un patrón de ondas estacionarias con un solo antinodo y dos nodos, en los siguientes paneles (2b) el número de estos elementos se incrementa sucesivamente por lo que la frecuencia de la onda también lo hace (Fletcher y Rossing, 1991).



**Figura 2. Ondas estacionarias. Ondas estacionarias con diferente número de nodos para frecuencias que son múltiplos ( $nf$ ) de una frecuencia fundamental ( $f_1$ ), el espaciamiento entre nodos es siempre de la mitad de la longitud de onda, de modo que la condición para que en la cuerda se produzca una onda estacionaria es que la longitud  $L$  de la cuerda se igual a un número entero  $n$  de medias longitudes de onda.**

El espaciamiento entre nodos es siempre de la mitad de la longitud de onda, de modo que la condición para que en la cuerda se produzca una onda estacionaria es que la longitud  $L$  de la cuerda se igual a un número entero  $n$  de medias longitudes de onda:

$$L = n \left( \frac{\lambda}{2} \right)$$

donde  $n = 1, 2, 3, \dots$

Cuando la frecuencia impulsora constante que una mano ejerce sobre una cuerda es muy diferente de las longitudes de onda necesarias para producir una onda estacionaria, la onda reflejada desde el extremo distal de la cuerda hacia la mano realizará un trabajo sobre ella al no encontrarse en fase, en esta forma la cuerda perderá energía además de la pérdida natural por amortiguamiento, por lo anterior es necesario suministrar más energía si se requiere una amplitud constante de la onda (Serway y Jewett. Jr, 2008).

Cuando la frecuencia de la fuerza impulsora coincide con las frecuencias naturales permitidas, se produce una onda estacionaria y el sistema comienza a moverse con una gran amplitud, en estos casos la cuerda no pierde energía al no realizar un trabajo sobre la mano. Toda la energía suministrada al medio —menos la pérdida en el amortiguamiento— se almacena en la oscilación, dando un movimiento de gran amplitud por una interferencia constructiva entre las ondas que viajan en la cuerda en las dos direcciones, estado conocido como resonancia (Serway y Jewett. Jr, 2008).

### 1.3. Potencia e Intensidad de las Ondas Sonoras.

La intensidad  $I$  de una onda que se propaga se define como la cantidad media de energía transportada por la onda, por unidad de superficie y por unidad de tiempo, a través de una superficie perpendicular a la dirección de propagación. En otros términos la intensidad es la potencia media transportada por unidad de área (Serway y Jewett. Jr, 2008).

La intensidad del sonido se define como la energía promedio por unidad de tiempo que se ejerce sobre una sección de área determinada.

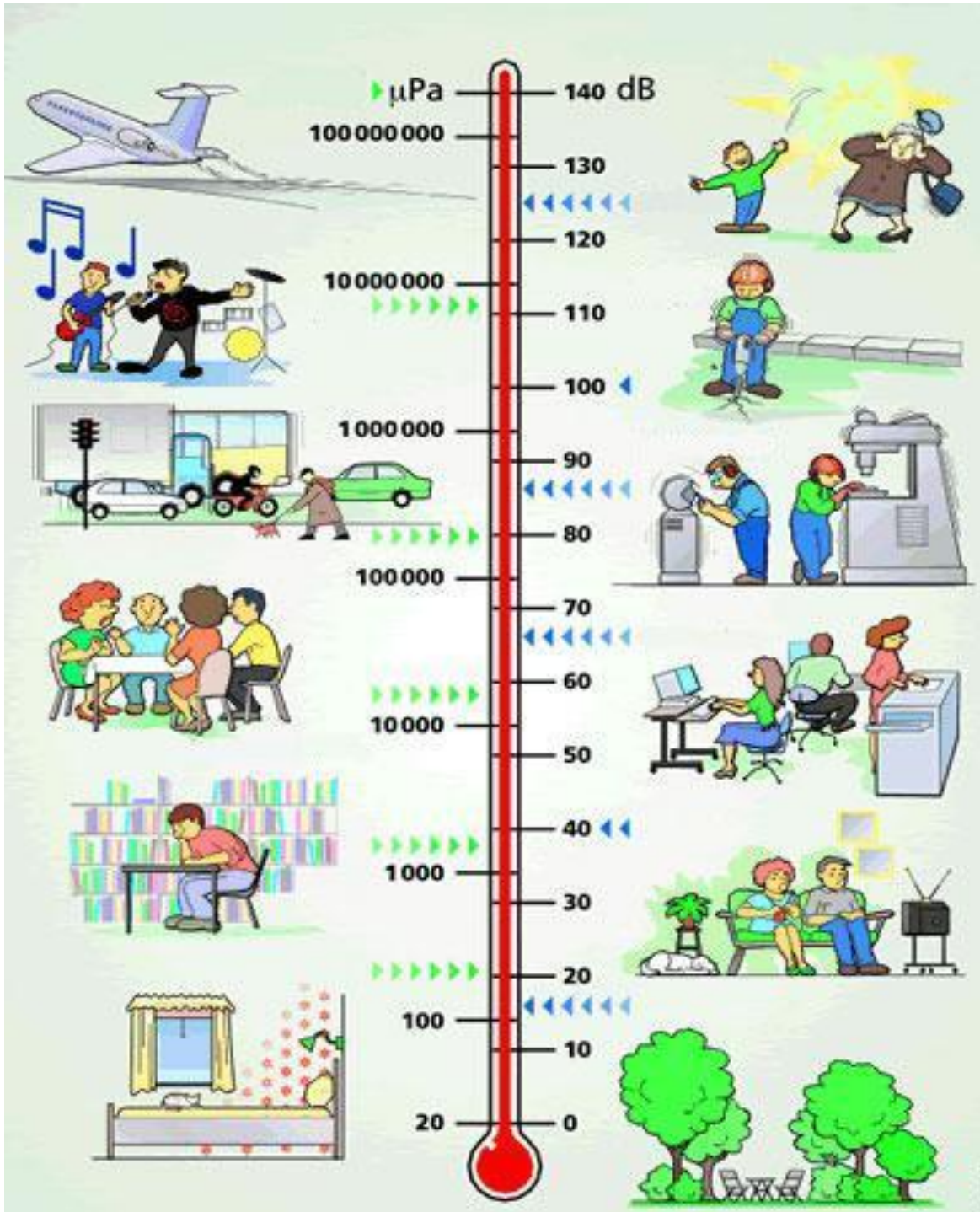
$$I = \frac{P}{A}$$

Dada la sensibilidad del oído, este es capaz de responder a intensidades dentro de un intervalo de 12 órdenes de magnitud, es necesario introducir una escala logarítmica de intensidades llamada nivel de sonido (SL de sus siglas en inglés).

$$SL = 10 \log \left( \frac{I}{I^0} \right)$$

El nivel de sonido se define respecto de una intensidad de referencia  $I^0$  la cual corresponde a  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  valor ubicado en el umbral de la audición humana.

Los niveles de sonido se miden en unidades llamadas decibeles (dB). En la Tabla 1 podemos observar que para un sonido de valor igual a  $I^0$  el nivel de sonido correspondiente es de 0 dB y que un sonido en el umbral del dolor cuya intensidad es de  $1 \text{ W/m}^2$  equivale a 120 dB (Serway y Jewett. Jr, 2008).



**Tabla 1. Niveles de sonido.** Nuestro oído cubre una sorprendente y muy amplia variedad de presiones sonoras, el umbral auditivo desde 0 dB (A) hasta el umbral del dolor de más de 120 dB(A). (Coba, 2011)

Podemos usar también el dB como una medida relativa para comparar diferentes sonidos entre sí, dos sonidos de intensidades  $I_1$  e  $I_2$  cuya razón de intensidades sea 2, difieren en términos de nivel de sonido en 3dB.

$$SL_1 - SL_2 = 10 \log \left( \frac{I_1}{I_2} \right) = 10 \log 2 = 3 \text{ dB}$$

Cuando el nivel del sonido se incrementa en 20 dB la presión del sonido se incrementa diez veces, un incremento de 80 dB representa un incremento de  $10^4$  veces la presión del sonido, por ejemplo una persona con pérdida del oído de 80 dB requiere una presión  $10^4$  veces mayor para oír un mismo sonido que en condiciones normales (Resnick et al. 1997; Serway y Jewett. Jr, 2008).

## **2. Aspectos Generales de la Fisiología Auditiva.**

La generación de sensaciones auditivas en el ser humano es un proceso complejo, el cual se divide en recepción, transducción y procesamiento de las ondas sonoras. La recepción, transducción y procesamiento de los estímulos sonoros se llevan a cabo en el oído propiamente dicho, mientras que la etapa de procesamiento neural, en la cual se producen las diversas sensaciones auditivas, se encuentra ubicada en el cerebro. Así pues, se pueden distinguir dos regiones o partes del sistema auditivo: la región periférica, en la cual los estímulos sonoros conservan su carácter original de ondas mecánicas hasta el momento de su conversión en señales electroquímicas, y la región central, en la cual se transforman dichas señales en sensaciones (Kandel et al. 2000; Squire et al. 2008).

El oído o región periférica se divide usualmente en tres zonas, llamadas oído externo, oído medio y oído interno. Los estímulos sonoros se propagan a través de estas zonas, sufriendo diversas transformaciones hasta su conversión final en impulsos nerviosos (Kandel et al. 2000; Squire et al. 2008).

El oído externo está formado por el pabellón auricular u oreja, el cual dirige las ondas sonoras hacia el conducto auditivo externo a través del orificio auditivo. El otro extremo del conducto auditivo se encuentra cubierto por la membrana timpánica o tímpano, la cual constituye la entrada al oído medio. El conducto auditivo cumple con dos funciones adicionales: proteger las delicadas estructuras del oído medio contra daños y servir como un resonador de ondas estacionarias semejante a la caja resonante de los instrumentos musicales (Kandel et al. 2000; Squire et al. 2008).

## **2.1 El oído externo.**

El oído externo modifica al sonido proveniente del medio exterior e incrementa el contraste entre sonidos dependiendo de su dirección de origen y adiciona una ganancia acústica substancial. Shaw EA (1974) menciona que el sistema de antena acústica del oído externo puede ser dividido en tres componentes funcionales: la cabeza, el torso y la pinna, quienes actúan como cuerpos de difracción, la concha de la pina y el canal auditivo externo cerrado por la membrana timpánica funcionando como resonadores.

**Cabeza y Torso.** Cuando el sonido llega a la cabeza, esta constituye un obstáculo a su paso, lo cual ocasiona que en el lado opuesto al de su punto de incidencia exista una zona donde el sonido tiene menor intensidad, fenómeno llamado por su analogía

con lo ocurrido a las ondas luminosas, sombra acústica (Ballachanda, 1997; Salomons, 2012).

A frecuencias menores de 1 KHz <sup>4</sup> el oído humano externo puede ser visto como un detector de frecuencia sobre la superficie de un obstáculo duro estacionario, esta representación da una correcta descripción de las diferencias interaurales en tiempo y valores aproximados de las fases interaurales y amplitudes de presión (Plack, 2010)

En la figura 3 se muestra una cabeza esférica, con los oídos colocados en un ángulo de 180° y una fuente de sonido con un ángulo de incidencia  $\alpha$  sobre el eje que une ambos oídos. Una onda de sonido que viaje desde el lado izquierdo al oído derecho, tendrá que viajar una distancia  $d$  mayor que la necesaria para llegar al oído izquierdo y esta diferencia en la llegada del sonido a los dos oídos se denomina diferencia interaural (IATD) y es usada por el cerebro para calcular la ubicación de una fuente sonora. La distancia de separación entre los oídos y la IATD se relacionan mediante la expresión:

$$d = b \sin \alpha + b \alpha \text{ IATD}$$

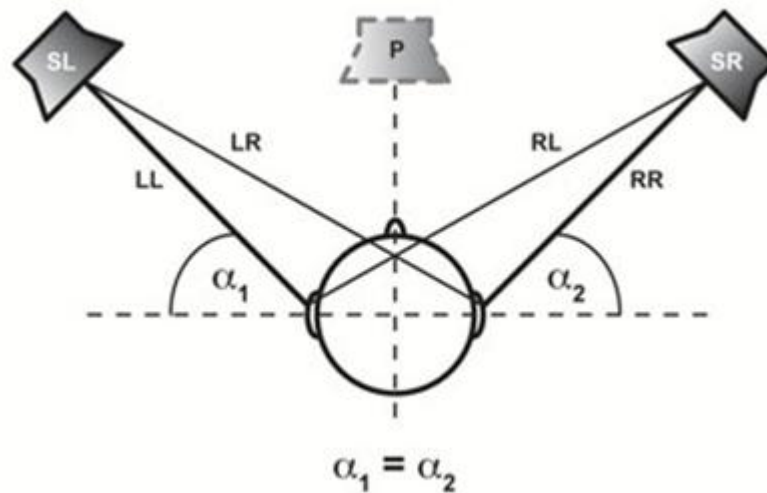
La diferencia interaural (IATD) correspondiente en ese modelo está dada por:

$$t = \frac{d}{c} = \left(\frac{a}{c}\right) (\sin \theta + \theta)$$

donde:  $c$  es la velocidad del sonido en el aire.

---

<sup>4</sup> La discrepancias observadas a mayores frecuencias se deben a que la sombra acústica comienza a jugar un papel mayor y uno de los oídos necesariamente cae en esa zona.



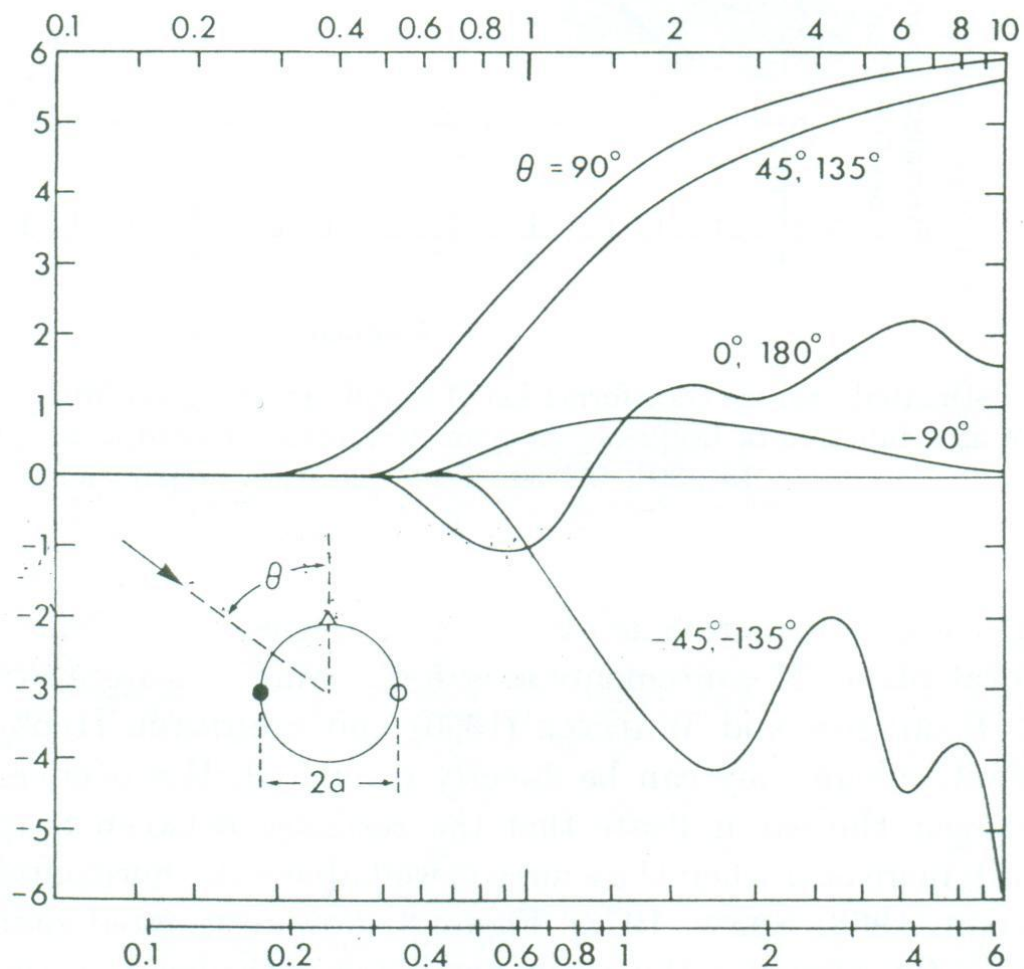
**Figura 3. Representación esquemática de cabeza esférica y de los ángulos de incidencia del sonido asociados a las diferencias interaurales.** Los oídos se encuentran colocados en un ángulo de  $180^\circ$ , una fuente de sonido con un ángulo de incidencia a sobre el eje que une ambos oídos tendría que viajar una distancia mayor que la necesaria para llegar al oído izquierdo. Esta diferencia en la llegada del sonido a los dos oídos se denomina diferencia interaural y es usada por el cerebro para calcular la ubicación de una fuente sonora.

Por otra parte, estructuras como la pared del canal auditivo, la concha, la pinna y la superficie de la cabeza se comportan como superficies rígidas al sonido, por lo tanto la transformación de las ondas sonoras hasta el tímpano depende de la dispersión, difracción y efectos de resonancia usualmente identificables al comparar la longitud de la onda sonora con la dimensión de estas estructuras anatómicas (Serway y Jewett Jr. 2008).

Tomando en cuenta mediciones en un solo oído, para un ángulo de incidencia  $\theta=90^\circ$  (figura 4) podemos observar el papel desempeñado por la cabeza en su conjunto sobre el sonido, consistente en un incremento en el nivel de presión

timpánica respecto de la presión en el medio, que se da en función de la frecuencia de estimulación y alcanza un valor asintótico de 6 dB.

En un modelo funcionando bajo el esquema anterior, adicionado de un torso podemos ver un desplazamiento de la curva en 1 o 2 KHz, efecto debido a la difracción de las ondas sobre el hombro.



**Figura 4. Modificaciones en la amplitud de los sonidos (SPLdB) producidas por la cabeza para diferentes ángulos de incidencia.** En esta figura se observa el papel desempeñado por la cabeza sobre la detección de los sonidos, consistente en un incremento en el nivel de presión timpánica respecto de la presión en el medio, que se da en función de la frecuencia de estimulación y del ángulo de incidencia Tomado de Shaw 1974.

**Cocha y canal auditivo.** La aproximación más simple para entender el papel desempeñado por el canal auditivo sobre la recepción sonora es representarlo como una cavidad cilíndrica de aproximadamente 2.5 cm en longitud y 0.7 cm de diámetro abierta por un extremo. En analogía con la onda transversal que hemos descrito en las secciones anteriores, cuando una onda que viaja en un tubo llega al extremo de este se refleja en el sentido contrario, el comportamiento de reflexión depende sin embargo de si el tubo es cerrado en uno de sus extremos.

En un tubo abierto la presión en el extremo de salida es la misma que la presión en el medio ambiente, el intento de la onda por comprimir el medio exterior causa un enrarecimiento el cual viaja de regreso en el tubo con un cambio de fase de  $180^\circ$ .

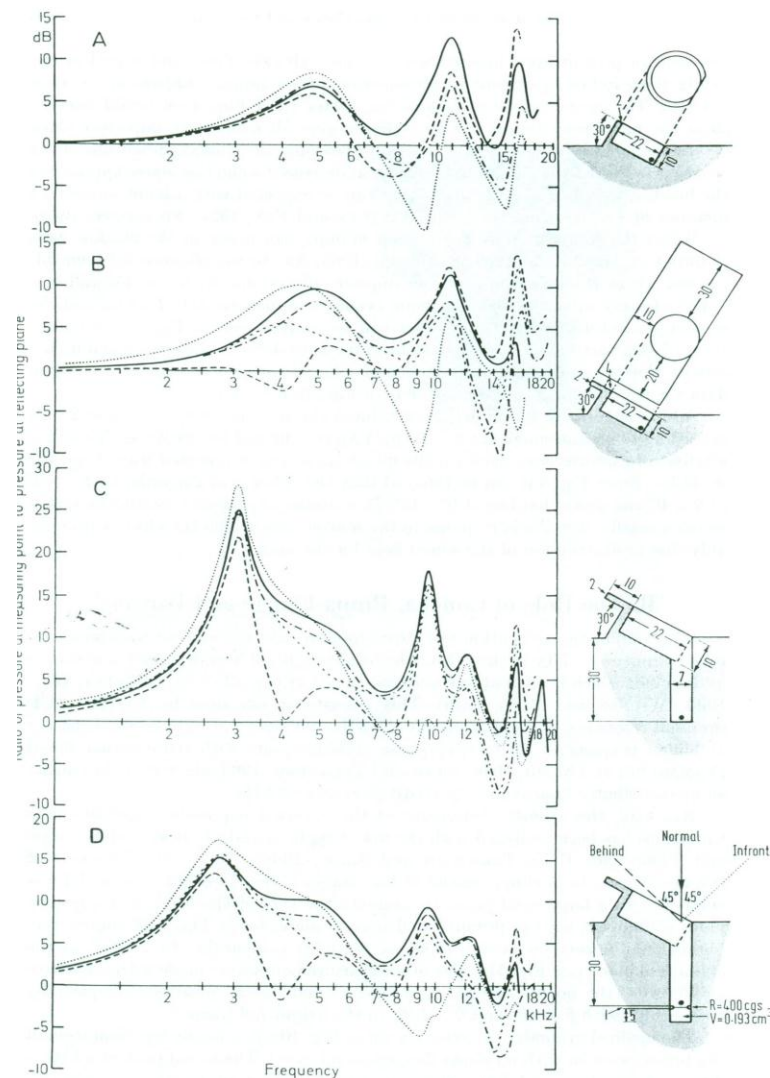
En el tubo con un extremo cerrado si la onda incide sobre la pared se causa en ese punto un máximo de presión ya que comprime al medio contra la pared fija y regresa sin cambiar de fase, en este caso si se escoge un patrón de ondas cuya frecuencia sea natural respecto de la longitud del tubo se producirá el fenómeno de resonancia en la misma forma que en las ondas transversales descritas en las secciones precedentes, dichos fenómenos explican la resonancia del canal auditivo a frecuencias cercanas a los 3 KHz.

En el panel A de la figura 5 se han representado mediante una pequeña cavidad la concha de un oído humano, en la porción izquierda podemos observar para las frecuencias dentro del rango audible (2-20KHz) que esta estructura por sí misma genera una resonancia con un pico amplio sobre los 5 KHz, los picos de resonancia a otras frecuencias son, sin embargo, ampliamente dependientes del

ángulo de incidencia de la onda, obsérvese la curva para la normal ( — ) mucho mayor que los picos para los ángulo de  $\pm 45^\circ$  (.....).

La adición sobre la concha de una pequeña pestaña que representa la pinna (fig.5B) mantiene inalterada la resonancia para el ángulo de  $0^\circ$  (-.-.-.-), pero reduce ampliamente este efecto cuando el estímulo proviene de la parte posterior ( $-45^\circ$ ; -----), efectuando por tanto un contraste que permite separar los sonidos provenientes de la parte anterior y normales al organismo, de aquellos generados desde su parte posterior.

La adición de una cavidad cilíndrica (5C) que representa el canal auditivo, provoca un crecimiento acentuado de los picos de sensibilidad sobre todo a los 3 KHz, como hemos explicado por la longitud fundamental de resonancia de esta estructura. Las curvas observadas en este modelo se encuentran en concordancia con las mediciones realizadas en humanos, si se realizan las correcciones del amortiguamiento debido al torso cuello y cabeza (5D; Shaw EA 1974).



**Figura 5. Efecto de la concha, pina y canal auditivo sobre los sonidos provenientes del medio circundante.** La concha (A) genera una resonancia con un pico amplio sobre los 5 KHz, los picos de resonancia a otras frecuencias son dependientes del ángulo de incidencia de la onda, obsérvese la curva para la normal (—) mucho mayor que los picos para los ángulo de  $\pm 45^\circ$  (.....). La pina (B) no altera la resonancia para el ángulo de  $0^\circ$  (-.-.-), pero reduce este efecto cuando el estímulo proviene de la parte posterior ( $-45^\circ$ ; -----), efectuando por tanto un contraste que permite separar los sonidos provenientes de la parte anterior y normales al organismo, de aquellos generados desde su parte posterior. La adición de una cavidad cilíndrica (C) que representa el canal auditivo, provoca un crecimiento acentuado de los picos de sensibilidad sobre todo a los 3 KHz. Las curvas observadas en este modelo se encuentran en concordancia con las mediciones realizadas en humanos, si se realizan las correcciones del amortiguamiento debido al torso cuello y cabeza (6D; Tomado de Shaw 1974).

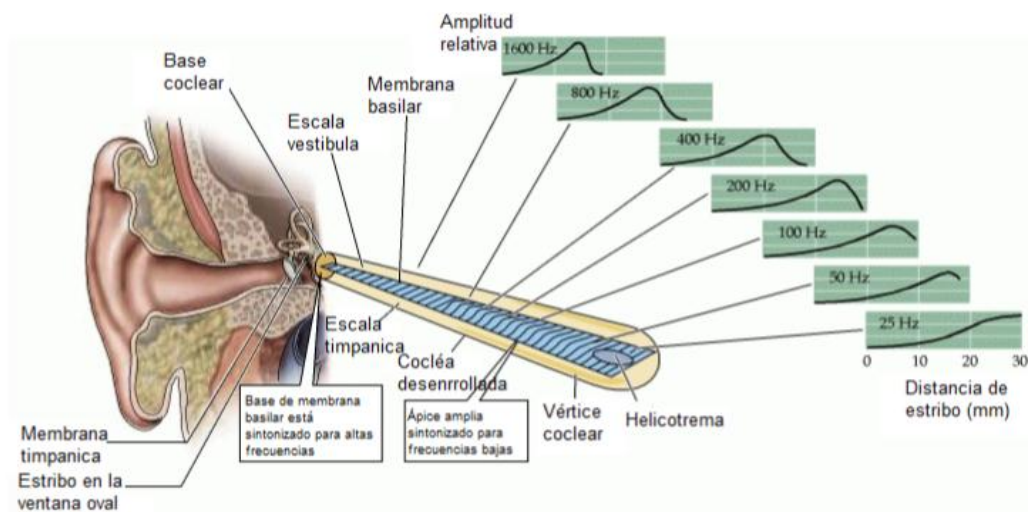
## 2.2. El Oído medio

Debido a que gran parte de la energía sonora (~99%) se pierde por reflexión en la interface entre el aire y los fluidos corporales dadas sus diferentes impedancias. El desarrollo del oído medio a partir de los anfibios proporcionó un mecanismo para la transmisión efectiva de la energía entre los medios aéreo y acuoso de las cavidades auditivas, al funcionar como un acoplador de impedancias (Cardinali, 2007).

Esta función es realizada principalmente en base a las diferencias en área entre la membrana del tímpano y la ventana oval, así como por el sistema de palancas que constituyen los huesecillos del oído medio enlazados a estas superficies. El oído medio logra un incremento de la presión dado que concentra mediante el estribo la misma fuerza en un área menor, la membrana timpánica mide alrededor de  $0.55 \text{ cm}^2$  mientras la planta del estribo mide  $0.032 \text{ cm}^2$ , la amplificación resultante es de unas 17 veces la presión que llega al tímpano. Una amplificación complementaria de 1.31 veces se logra por la diferencia en longitudes entre el mango del martillo y la apófisis larga del yunque. En Aves y mamíferos, así como en algunos reptiles la eficiencia en la transmisión se ha incrementado además por una reducción en la masa del complejo estapedial y por una unión más flexible de este complejo a los huesos circundantes (Soriano et al. 2007).

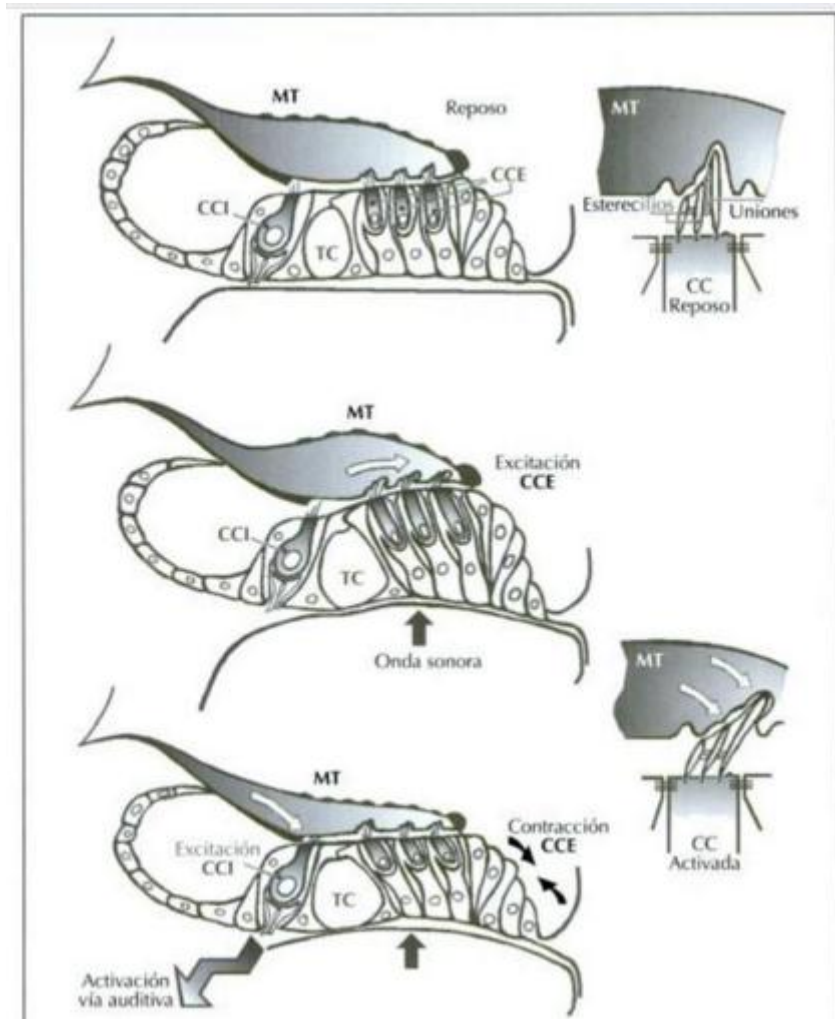
### 2.3 El Oído Interno

El órgano auditivo interno puede ser visto como un tubo desenrollado dividido en dos partes: la escala timpánica y la escala vestibular, ambas llenas de líquido endolinfático que presenta una alta concentración de  $K^+$ , similar a la del interior citoplasmático (figura 6) (Cardinali, 2007; Soriano et al. 2007).



**Figura 6. Órgano auditivo interno.** En esta figura el oído interno se ve como un tubo desenrollado; como se muestra la escala vestibular y timpánica ambas llenas de líquido endolinfático. Tomado de Purves, 2001.

La división entre ambas secciones la proporciona la partición coclear donde reside el epitelio sensorial sobre el cual subyacen a su vez las células receptoras o células ciliadas. Los límites de la partición coclear se encuentran entre la membrana de Reissner y la membrana basilar que colindan, la primera, con la escala vestibular en la porción superior y la segunda con la escala timpánica en la inferior (Soriano et al. 2007).



**Figura 7.** En esta figura se muestran los movimientos del receptor auditivo cuando llega la onda de presión a la membrana basilar. En la parte de arriba esta en reposo. A la derecha los estereocilios se encuentran en reposo. En el centro de la figura se encuentran la células ciliadas externas, por lo que el desplazamiento actividad de los estereocilios y finalmente en la parte de abajo contracción de las células ciliadas externas y activación de las internas y envió de mensaje a la vía auditiva. Tomado de (Suárez et al. 2007).

El estímulo adecuado para las células receptoras del epitelio sensorial es un desplazamiento relativo entre el haz de cilios que estas poseen y su soma, si el sonido debe estimularla entonces es necesario que las diferencias de presión conducidas por el oído medio sean capaces de desencadenar este movimiento (Cardinali, 2007).

Cuando las ondas sonoras son conducidas por el oído medio, el pie del estribo desplaza a la ventana oval desde su posición inicial y de regreso, logrando con tales desplazamientos que la energía sonora sea transmitida a la escala vestibular de la cóclea. La perilinfa dentro de la escala vestibular al ser incompresible transmite las vibraciones hacia la partición coclear la cual es impulsada en forma cíclica hacia la escala timpánica. Los fluidos dentro de la escala timpánica pueden moverse gracias a la elasticidad de la ventana redonda la cual se orienta hacia el oído medio permitiendo en tal modo liberar la presión dentro del oído interno (Fritzsich et al. 2002).

De acuerdo con estudios comparativos (Manley et al. 2001; Fritzsich et al. 2002 y Clack, 2002) el órgano auditivo de los rinápsidos, los reptiles más antiguos de los cuales se desprenden las filas actuales de tetrápodos, obedecía tres importantes principios funcionales, que al ser encontrados en todos los amniotos pueden ser considerados como caracteres plesiomórficos:

1. Selectividad de frecuencias, posibilitada mediante dos mecanismos:

a) Resonancia eléctrica en las membranas de las células ciliadas. Los Canales iónicos de  $K^+$  y  $Ca^{2+}$  activados por  $K^+$  que actúan en forma complementaria en números específicos y con cinéticas de retraso tales que permite al potencial de membrana oscilar con frecuencias características cuando las células son

estimuladas. Este mecanismo se encuentra sin embargo confinado a frecuencias inferiores a los 5 KHz (Hudspeth, 1997).

b) Resonancia micromecánica en la cual las frecuencias características de las células ciliadas son determinadas por las propiedades de rigidez de los haces ciliados, su masa y por las características de la membrana tectoria. La presencia de estos mecanismos se manifiesta en gradientes anatómicos del epitelio sensorial, tal como la longitud de los haces ciliados (Baird et al. 1988; Manley et al. 2001).

2. Las células ciliadas se encuentran arregladas sistemáticamente de acuerdo con sus frecuencias características eléctricas y micromecánicas, a lo largo del eje del epitelio auditivo dando lugar al conocido arreglo tonotópico de esta estructura (Ren, 2002).

3. Amplificación activa. Las células ciliadas de los vertebrados muestran alta sensibilidad y selectividad a distintas frecuencias adicionando energía mecánica auto-generada a las señales pequeñas. Esto permite detectar señales que son menores al movimiento térmico molecular y desarrollar amplitudes de resonancia significativas a pesar de la viscosidad del fluido circundante (propiedad relacionada a la actividad otoacústica espontánea; Manley et al. 2001).

A partir de estos mecanismos básicos del oído han ocurrido transformaciones funcionales y estructurales importantes en las tres principales líneas de amniotos: mamíferos, aves (Crocodilia) y lagartos (Manley y Gleich 1991), transformaciones que incluyen mecanismos análogos pero también grandes diferencias, las

convergencias evolutivas pueden ser observadas principalmente entre aves y mamíferos.

## **MARCO REFERENCIAL**

La ciudad de Puebla es una zona urbana que a lo largo y ancho de sus 561.35 kilómetros cuadrados de superficie y más de 1 millón 485 mil 941 personas (INEGI 2013) generan un proceso social, económico y político con identidad propia (Puebla, 2001).

En la ciudad de Puebla existen diversos reglamentos a nivel Estatal y Municipal con respecto al ruido, dentro de los cuales podemos citar a la Ley General del equilibrio ecológico y protección al ambiente (Capital, 2016), la cual define en su artículo 8 que es competencia de los municipios, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

VI.- La aplicación de las disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de la contaminación por ruido, vibraciones, energía térmica, radiaciones electromagnéticas y lumínica y olores perjudiciales para el equilibrio ecológico y el ambiente, proveniente de fuentes fijas que funcionen como establecimientos mercantiles o de servicios, así como la vigilancia del cumplimiento de las disposiciones que, en su caso, resulten aplicables a las fuentes móviles excepto las que conforme a esta Ley sean consideradas de jurisdicción federal.

También existe un Reglamento Para la Protección del Ambiente Contra la Contaminación Originada por la Emisión de Ruido, la cual establece en sus artículos 8 y 11 las “**Obligaciones de los responsables de las fuentes emisoras de Ruido**”.

Las cuales consisten en “Proporcionar a las autoridades competentes la información que se les requiera”, como el horario y el tiempo en el que realizará el perifoneo.

Otros códigos reglamentarios como el del Municipio de Puebla en su Libro Tercero: Urbanística del Municipio de Puebla (Título Único del Desarrollo Urbano Sustentable Capítulo 18 “Anuncios”) establecen los derechos por anuncios comerciales y publicidad de los sujetos susceptibles de dicha contribución, por ejemplo, por anunciar publicidad mediante perifoneo y cualquier otra forma de comunicación fonética, pero no establece límites permisibles de ruido ambiental.

A nivel federal la NOM-081-SEMARNAT-1994 establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de fuentes fijas (68 dB de 6:00 a 22:00 horas y 65 dB de 22:00 a 6:00 horas) y su método de medición consistente en la descripción de las fuentes ruidosas con el sonómetro funcionando en modo de ponderación “A” y realizando un recorrido por la parte externa de las colindancias de la fuente fija con el objeto de localizar la Zona Crítica o zonas críticas de medición, dentro de cada Zona crítica se ubican 5 puntos distribuidos vertical u horizontalmente en forma aleatoria a 0.30 m de distancia del límite de la fuente y a no menos de 1.2 m del nivel del piso; una vez ubicados los puntos de medición conforme a lo señalado anteriormente se deberá realizar la medición de campo de forma continua (ponderación A), teniendo en cuenta las condiciones normales de operación de la fuente fija. Esta Norma Oficial Mexicana se aplica a la pequeña, mediana y gran industria, comercios establecidos, servicios públicos o privados y actividades en la vía pública.

En la ciudad de México existen estudios no recientes sobre la magnitud del ruido ambiental (1985; Tabla 2) pero estos son escasos en el interior del país y dado

el grado de urbanización y crecimiento que enfrenta el país es de suponerse que este problema se encuentre en pleno desarrollo (CONEVAL 2014).

En el año de 1985 la SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología) realizó estudios de contaminación auditiva en diversas ciudades a nivel nacional, dicho estudio arrojó que 25 de ellas presentaron contaminación por ruido (Tabla 2; Jiménez, 2001).

|             |                  |
|-------------|------------------|
| Celaya      | Cd. De México    |
| Colima      | Monterrey        |
| Chetumal    | Pachuca          |
| Durango     | Puebla           |
| Guadalajara | Querétaro        |
| Guanajuato  | Salamanca        |
| Hemosillo   | San Luis Potosí  |
| Irapuato    | Saltillo         |
| Juárez      | Tepic            |
| León        | Tijuana          |
| Manzanillo  | Tuxtla Gutiérrez |
| Mazatlán    | Zacatecas        |
| Mérida      |                  |

**Tabla 2.** Ciudades que mostraron contaminación auditiva de acuerdo con el estudio realizado por la SEDUE en el año 1985 (Tomado de Jiménez, 2001).

La SEDUE determinó que la zona metropolitana de la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, León, Toluca, Puebla y Tlaxcala son las ciudades con mayor ruido provocado principalmente por la industria. De igual forma se dió a conocer que la Colonia industrial Vallejo y las delegaciones Azcapotzalco, Cuauhtémoc y Gustavo

A. Madero son las zonas de mayor contaminación por ruido en la Ciudad de México, siendo el tránsito vehicular otra de las fuentes importantes (Jiménez, 2001).

Es bien conocido (Damián et al. 2001) que el tránsito vehicular es la principal fuente de ruido en las urbes; esto se debe a que desde la década de los sesenta ha aumentado el número de los vehículos de transporte y su utilización, provocando con ello un incremento sensible en los niveles de ruido en los ambientes exteriores.

El ruido procede del motor, de las transmisiones y de la fricción causada por el contacto del vehículo con el pavimento y el aire. Pero la circunstancias que más influye en la generación de ruido es el volumen vehicular, los tipos de vehículos de acuerdo a su tamaño y peso así como la superficie de rodamiento, como adoquines, concreto hidráulico o asfalto (Damián et al. 2001).

Los estudios antes mencionados no son recientes pero sobre todo no han sido continuos y la información más reciente sobre la contaminación por ruido, ya sea en la ciudad misma o en las carreteras corresponde a Guadalajara, Querétaro, Veracruz, San Luis Potosí, Distrito Federal y Nuevo León (Ruíz et al. 2006; Flores et al. 2006; Torras et al. 2003 y Damián et al. 2001), lo que demuestra la falta de importancia que este tema recibe.

Uno de los primeros aspectos para acercarnos a una solución en el problema de la contaminación auditiva es hacer llegar a la población información sobre el daño que provoca el ruido ambiental, así como sobre los efectos y formas de controlarlo, de allí que es prioritario caracterizarlo en primera instancia.

Los gobiernos de los países desarrollados muestran un marcado interés en promulgar normas que limiten la contaminación acústica en las ciudades, ya que al menos en la Unión Europea (UE) se estima que cerca de 113 millones de personas

están expuestas a ruido ambiental por encima del nivel permisible dentro de la escala conocida como nivel de presión acústica equivalente “Leq” (De Esteban Alonso, 2003; Goines y Hagler, 2007 y McLaren y Armstrong, 2008).

La Organización Mundial de la Salud (OMS 2011; Goines y Hagler, 2007 y McLaren y Armstrong, 2008), dentro del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, ha recomendado valores límites de emisión de ruido de acuerdo con el lugar y hora de exposición, basándose en los efectos que éste tiene sobre la salud. En la tabla 3 se muestran los valores límites recomendados por la OMS.

| TIPO DE AMBIENTE           | Leq dB(A) Leq (total) |
|----------------------------|-----------------------|
| Laboral                    | 75                    |
| Exterior diurno            | 55                    |
| Exterior nocturno          | 45                    |
| Doméstico, auditorio, aula | 45                    |
| Dormitorio                 | 35                    |

**Tabla 3. Valores límite de emisión de ruido recomendados por la OMS de acuerdo con el lugar y hora de exposición.** Tomado de Torras et al. 2003; McLaren y Armstrong, 2008.

Los niveles permisibles (Leq) de contaminación por ruido difieren de un país a otro, por ejemplo para niveles diurnos los límites vigentes se encuentran en: 55 dB (Finlandia) y 65 dB (Francia y España). Además de existir diferencias en las técnicas, métodos de medición y también en los enfoques políticos: en Finlandia la legislación existe desde 1987 siendo su periodo diurno de 7 a 22 hrs en el cual se permiten de 45 a 55 dB y el periodo nocturno es de 22 a 7 hrs con niveles permitidos de 40 a 50 dB en exteriores como áreas de tipo residencial, servicios públicos y

recreativos. En interiores los límites permitidos en horarios de 7 a 22 hrs van de 33 a 45 dB y de las 22 a las 7 hrs de 30 dB como máximo en las escuelas, hoteles, hospitales y oficinas.

En Francia existe la ley No 92-1444, del 31 de diciembre de 1992, relativa a la lucha contra el ruido; desarrollada y aplicada posteriormente por un decreto del 9 de enero de 1995. En ella se distinguen dos períodos de medición: *f* el período diurno (6–22 hrs) con niveles de ruido máximo de 65 a 75 dB y en el período nocturno (22–6 hrs) con niveles de ruido máximo de 55 a 75 en las zonas residenciales, hospitalarias, comerciales e industriales; en España a diferencia de Francia varía la definición horaria, en España el horario diurno es de 8–23 hrs y el período nocturno de 23–8 hrs (Damián et al. 2001 y Flores et al. 2006).

No obstante las diferencias, podemos observar que los niveles de ruido recomendados son relativamente bajos y podemos suponerlos para México como distantes al nivel de ruido real al cual nos enfrentamos en nuestro entorno.

## **MATERIAL Y MÉTODO.**

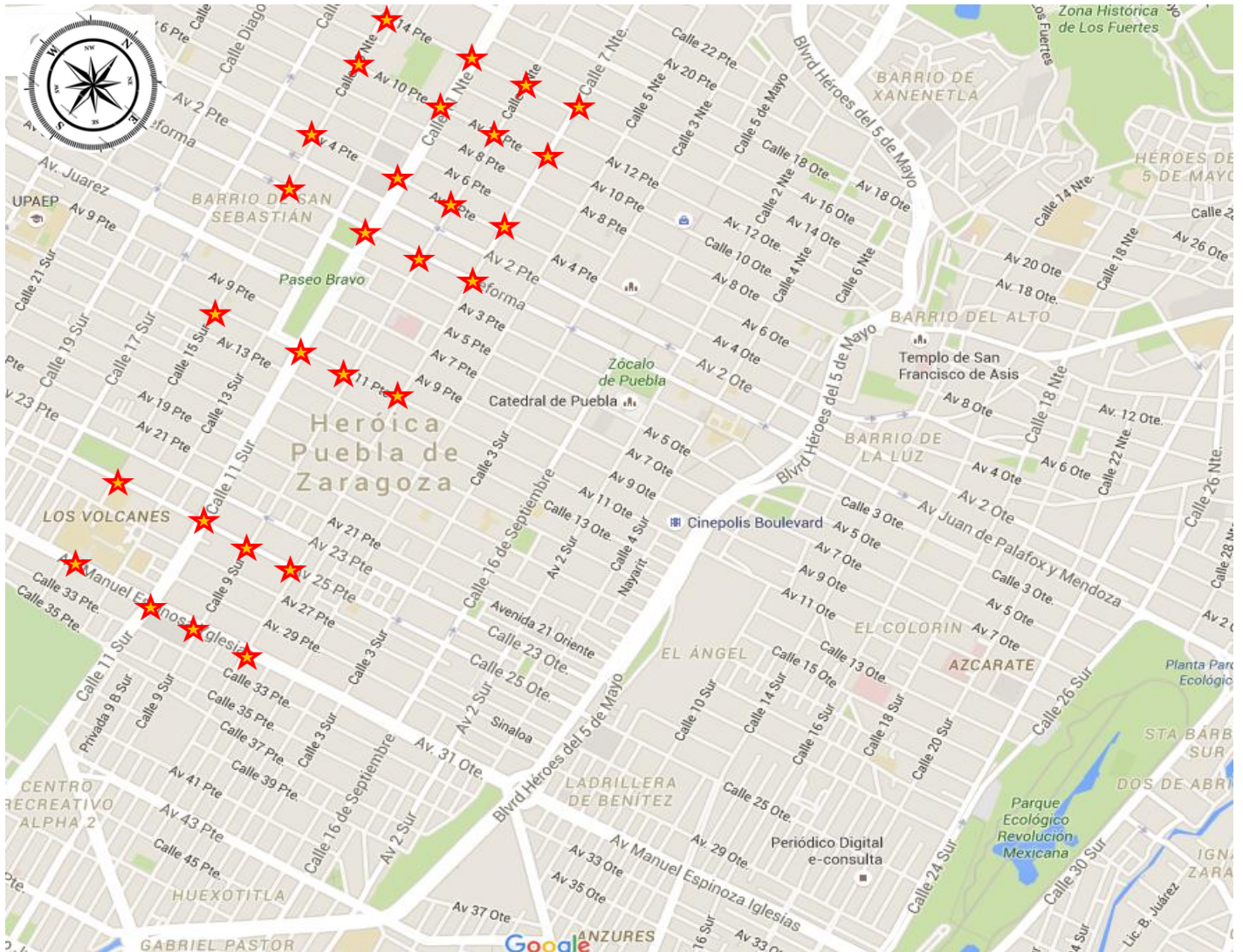
Se realizó un estudio comparativo durante los años 2010-11 de algunas de las vialidades más transitadas de la ciudad de Puebla tales como el Boulevard 5 de Mayo, las avenidas 11, 9 y 24 Norte-Sur en sus intersecciones con otras avenidas principales entre la 31 Ote-Pte y hasta la 14 Ote-Pte (figura 8). Se incluyó además la toma de mediciones en el año 2015 sobre las avenidas 7, 9, 11 y 15 Norte-Sur (Figura 9), ya que con la introducción del transporte articulado el Gobierno Estatal eliminó varias rutas de transporte público que transitaban en la 11 y la 9 Nte-Sur, desviando otras hacia la 7 y la 15 Nte-Sur. La toma de registros se realizó durante los meses de Febrero a Septiembre de 2010, de Marzo a Diciembre de 2011 y en el mes de Septiembre de 2015.

En las vialidades estudiadas los sitios de monitoreo fueron aquellos que los transeúntes generalmente emplean como cruces de calles, paradas de autobús o bien en grandes vialidades, sobre los camellones de estas.

Se empleó un medidor de presión de sonido (RadioShack 33-2055) y una grabadora (Stereon REC-830). Las mediciones se realizaron de acuerdo con los procedimientos estándares aceptados por la organización internacional para la estandarización NOM-079-ECOL-1994 y NOM-080- ECOL-1994: La emisión de ruido que producen los vehículos automotores se obtiene midiendo el nivel sonoro en ponderación "A", expresado en dB (Standards Policy and Strategy British Committee, 2003).

Los datos capturados fueron procesados fuera de línea y digitalizados a 40 KHz (NI USB 6251, National Instruments) para realizar el análisis del espectro de





**Figura 9.** Mapa donde se muestran los puntos tomados para medición del ruido ambiental en septiembre de 2015. Los puntos marcados (☆) corresponden a los sitios evaluados en el horario de 13:00 a 16:00 hrs.

Para saber si existe diferencia significativa entre los valores de amplitud del sonido para cada periodo de tiempo (2010-11 y 2015) se realizó un análisis de varianza de dos vías, tomando como variables las coordenadas norte-sur y oriente-poniente. Se consideraron como significativos valores con probabilidad menor a 0.05. y se realizó una post-prueba de Tukey. Los valores se expresan como la media  $\pm$  error estándar.

## RESULTADOS.

Se realizaron un total de 140 mediciones en 28 puntos diferentes (5 mediciones x 28 puntos) correspondientes a vialidades de primer y segundo orden en el primer cuadro de la ciudad, para el periodo 2010-11 (Tabla 4). Los valores puntuales mínimo y máximo encontrados en las vialidades estudiadas fueron respectivamente 74 dB y 109 dB.

El valor promedio del nivel de presión de sonido fue de  $91\pm 5$  dB no encontrándose diferencia significativa entre la mayor parte de las vialidades estudiadas (Tabla 4) con excepción de la calle 24 norte-sur que mostró en sus intersecciones con otras calles niveles menores de presión de sonido (promedio total:  $86\pm 3$  dB).

|            | 9 Nte-Sur | 11 Nte-Sur | Blvd. 5 My | 24 Norte-Sur |      |
|------------|-----------|------------|------------|--------------|------|
| 14 Ote-Pte | 95±3      | 95±5       | 95±5       | 88±4         | 93±4 |
| 10 Ote-Pte | 98±4      | 96±7       | 95±8       | 87±3 *       | 94±5 |
| 4 Ote-Pte  | 92±2      | 93±6       | 92±3       | 91±5         | 92±1 |
| Rfr-J.Plfx | 95±6      | 90±4       | 92±3       | 82±6 *       | 90±6 |
| 11 Ote-Pte | 91±3      | 84±5 *     | 97±4       | 83±2 *       | 89±7 |
| 25 Ote-Pte | 94±5      | 81±6 *     | 93±7       | 87±4 *       | 89±6 |
| 31 Ote-Pte | 92±4      | 89±9       | 92±4       | 85±3 *       | 90±3 |
|            | 94±2      | 90±6       | 94±2       | 86±3         |      |

Amplitud Total  
(SPL dB)

**Tabla 4. Magnitud promedio del ruido ambiental registrado en vialidades de primer y segundo orden en la ciudad de Puebla.** Para la obtención de los datos se realizaron mediciones durante los meses de febrero a septiembre de 2010 y de marzo a Diciembre de 2011, entre las 13:00 y las 16:00 hrs. \* Indica diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

El ruido acústico fue observado en las vialidades grandes al igual que en calles de segundo orden donde se encontraron valores de contaminación acústica importantes e incluso valores máximos durante periodos transitorios en algunas de ellas (109 dB; 9 norte-sur). Por otra parte, al considerar el total de las muestras pero separadas en periodos vacacionales y no vacacionales, los niveles de sonido no disminuyeron de forma estadísticamente significativa y mostraron una magnitud similar (respectivamente:  $86\pm 5$  dB y  $89\pm 4$  dB,  $p > 0.05$ ).

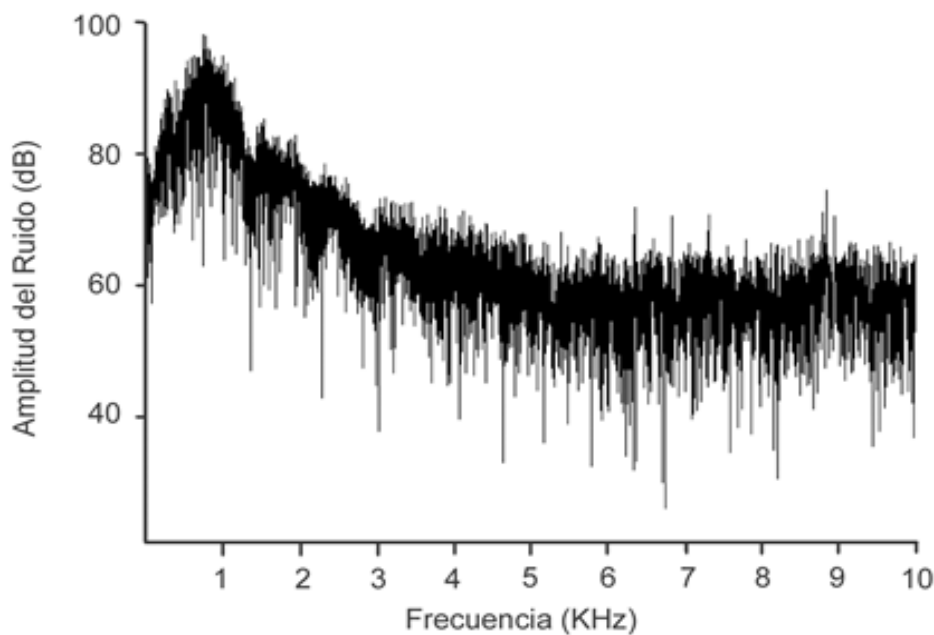
Para el periodo 2015 (140 muestras: 28 puntos x 5 mediciones) se observó una reducción de aproximadamente  $3\pm 1.2$  dB en la magnitud del promedio total del ruido acústico, respecto del reportado para el periodo 2010-2011 en la calle 11 Norte-Sur (Tabla 5), pero en aquellas vialidades de segundo orden donde el flujo vehicular fue reconcentrado (15 norte-sur) se observan niveles de contaminación auditiva semejantes a las de cualquier otra vialidad de primer orden ( $\approx 90$  dB).

|         | 15 Nte-Sur | 11 Nte-Sur | 9 Nte-Sur | 7 Nte-Sur |      |
|---------|------------|------------|-----------|-----------|------|
| 14 Pte  | 93±7       | 83±6*      | 88±6      | 80±7*     | 86±6 |
| 10 Pte  | 88±8       | 85±5*      | 82±8*     | 86±6      | 85±2 |
| 4 Pte   | 87±4       | 84±7*      | 79±4*     | 72±6*     | 81±6 |
| Reforma | 90±5       | 85±5*      | 83±12*    | 77±4*     | 84±5 |
| 11 Pte  | 91±5       | 84±7*      | 98±7      | 85±9      | 89±6 |
| 25 Pte  | 79±8*      | 92±6       | 93±12     | 80±6*     | 86±7 |
| 31 Pte  | 83±6*      | 95±7       | 88±5      | 82±10*    | 87±6 |
|         | 87±5       | 87±5       | 87±6      | 80±5      |      |

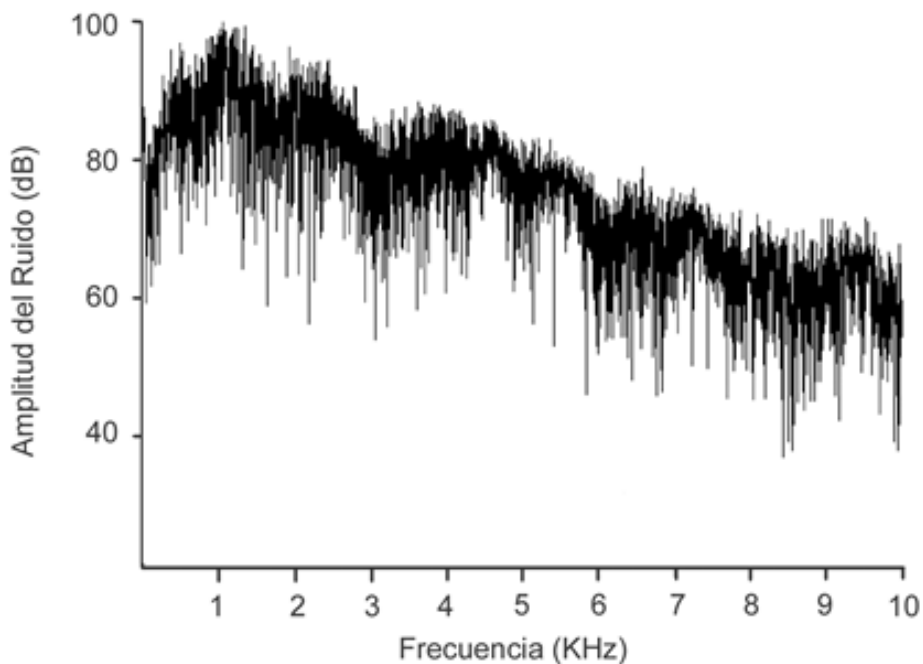
Amplitud Total  
(SPL dB)

**Tabla 5.** Magnitud del ruido ambiental registrado en vialidades de primer y segundo orden en la ciudad de Puebla 2015. Para la obtención de los datos se realizaron mediciones en 3 días distintos sobre cada punto, durante el mes de septiembre de 2015, entre las 13:00 y las 16:00 hrs. (\*,  $p < 0.05$ ).

Al analizar la composición de las frecuencias contenidas en el ruido medio ambiental se observó que este posee una composición similar entre los puntos analizados puesto que la mayor parte de este es producido por automotores y por tanto el espectro está centrado en frecuencias menores a los 5 KHz. con algunos picos transitorios ubicados en frecuencias por debajo de los 10 KHz. En las figura 10 y 11 se muestra el espectro de frecuencias típicas para dos puntos representativos. En cuanto a los espectros de potencia para el año 2015 se encontraron comportamientos semejantes.



**Figura 10. Amplitud de las frecuencias constituyentes del ruido ambiental (Calle 11 sur y 31 pte).** Obsérvese que las frecuencias que presentan una mayor amplitud se localizan sobre la escala baja del espectro auditivo centradas en 1 KHz. Estas frecuencias correspondientes a sonidos graves que alcanzan una magnitud cercana a los 95 dB. Hacia frecuencias mayores se observa un decaimiento de tipo exponencial que se estabiliza en un límite cercano a los 60 dB.



**Figura 11. Amplitud de las frecuencias constituyentes del ruido ambiental (Calle 9 sur y 25 pte).** En esta gráfica puede observarse que las frecuencias constituyentes alcanzaron una mayor amplitud ( $\approx 100$  dB) y muestran oscilaciones marcadas en frecuencias superiores a 1 KHz por lo que la amplitud total es mucho mayor a los 60 dB mostrados en la figura anterior, este comportamiento se debe a que en esta figura se incluyó el momento en el cual un automotor de tamaño considerable paso por el punto de registro.

## DISCUSIÓN.

Nuestros resultados muestran que en las vialidades de la ciudad de Puebla estudiadas en este trabajo, existen durante las horas de mayor afluencia vehicular niveles de sonido ( $\approx 90$  dB) que pueden causar daño auditivo bajo condiciones de exposición prolongada (OMS, 2011) y que son superiores a los permitidos en las Normas Oficiales Mexicanas. Por ejemplo, la NOM-081-SEMARNAT-1994 establece niveles de sonido máximos de 65 a 68 dB, muy por debajo de los niveles de sonido encontrados en las vialidades analizadas (Tabla 6). Es importante resaltar que el ruido encontrado no corresponde sólo a puntos focalizados de contaminación acústica sino a ruido generalizado en las vialidades estudiadas.

| HORARIO         | LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES |
|-----------------|-----------------------------|
| De 6:00 a 22:00 | 68 Db (A)                   |
| De 22:00 a 6:00 | 65 Db (A)                   |

**Tabla 6.** NOM-081-SEMARNAT-1994 establece los límites máximos permisibles del nivel sonoro en ponderación "A" emitido por fuentes fijas.

En el periodo 2010-11 se encontraron niveles menos intensos de sonido en las calle 24 norte-sur respecto a otros sitios muestreados lo que puede explicarse no sólo en función del menor aforo vehicular sino también en términos del ancho de la 24 norte-sur y la ausencia en una buena parte de ella de edificios de gran tamaño que pudieran funcionar como resonadores.

Como caso contrario podemos citar a la vía 9 norte-sur donde se registraron algunos de los valores máximos reportados en este trabajo ( $\approx 109$  dB). Esta calle, si bien no es una vialidad primaria, era transitada en estos años por un número importante de unidades de transporte colectivo lo que aunado a los edificios de gran tamaño y a la dimensión pequeña de la calle pudieran pensarse como las variables responsables de estos máximos reportados.

Las aseveraciones anteriores deben ser sujeto de futuros estudios ya que las superficies que rodean a fuentes sonoras constituyen sitios de resonancia acústica que pueden incrementar en gran medida el ruido ambiental (Prashanth, 2011) y esto constituiría un fuerte argumento para la peatonalización de ciertos sectores del centro histórico, lo cual puede incidir también en el cuidado del patrimonio histórico de la ciudad.

Es bien sabido que cuando una estructura se encuentra con su frecuencia resonante se necesita una cantidad de energía relativamente baja para hacerla vibrar, hecho que puede comprometer la integridad de la estructura incluso con consecuencias catastróficas (Findeis y Peters, 2004; Gidlöf-Gunnarsson et al. 2012).

Al comparar nuestros datos para la 9 Nte-Sur entre los periodos 2010-2011 y 2015, resulta evidente que si bien en ambos casos el nivel del ruido es superior al límite permitido ( $94 \pm 2$  dB y  $87 \pm 6$  dB, respectivamente), en el 2015 los niveles de sonido promedio son significativamente menores ( $p < 0.05$ ), hecho que pareciese relacionarse con la introducción del transporte articulado y la reducción de rutas de transporte colectivo.

Por su parte la 11 Nte-Sur no mostró diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre los dos periodos de tiempo analizado para las horas pico, pero en términos generales, para todas las calles analizadas en el periodo 2015, se observó que la magnitud de ruido disminuyó en aproximadamente  $6\pm 1$  dB, dando niveles que se encuentra todavía más altos a lo permitido pero que significan una mejora importante, compárese la tabla 4 del 2010-11 con la tabla 5 del 2015). Pero inconvenientemente en este trabajo no se consideraron inicialmente las vialidades secundarias 7 y 15 Nte-Sur por lo que no existen mediciones de años anteriores al presente o al 2015 con quienes establecer una comparación directa.

Es bien sabido que los niveles sonoros se correlacionan de forma positiva con la presencia de automotores en las grandes urbes y por consiguiente no resulta extraño que las frecuencias constituyentes del ruido ambiental aquí reportado se encuentren dentro del espectro bajo de la escala audible ( $< 10$  KHz).

Los espectros mostrados en las figuras 10 y 11 no presentan una frecuencia dominante particular, por lo que la estimulación sobre la cóclea debe abarcar una gran extensión y el daño que este tipo de estímulo puede generar debe reflejarse como una disminución generalizada de la sensibilidad auditiva, hecho que vuelve particularmente agresiva a la contaminación auditiva en las grandes urbes.

La medida puntual de contaminación auditiva empleada en este trabajo así como la extensión de los muestreos, reflejan en gran medida el estado del ruido ambiental en las grandes vialidades de la cd. de Puebla y dan la justificación para la realización de estudios más detallados donde se obtengan indicadores del nivel de

exposición al ruido a largo plazo ( $L_{Aeq}$ ), los cuales son indispensables para estudios de morbilidad relacionados a los efectos sobre alteraciones del sueño, estrés, pérdida auditiva o problemas cardiovasculares (Gidlöf-Gunnarsson et al. 2012).

Los indicadores del nivel de exposición al ruido a largo plazo como los  $L(Aeq,24h)$  o  $L(Aeq,12h)$  constituyen una medida eficaz estándar para predecir el factor de riesgo de una población (OMS, 2011; Gidlöf-Gunnarsson et al. 2012), pero su empleo implica un monitoreo constante, con el consecuente incremento en los recursos humanos y técnicos necesarios para esa tarea, pero este trabajo justifica la realización de dichos esfuerzos.

Otras normas, no referidas como comparativas con nuestros datos son la NOM-079-SEMARNAT-1994 y la NOM-080-SEMARNAT-1994 las cuales se relacionan con los límites permisibles de automotores (fuentes móviles) y señalan respectivamente los límites de 79 a 84 dB para camiones pesados (Tabla 7) y de 86 a 99 dB en función del tamaño del motor (Tabla 8). Pero las mediciones de estos niveles deben realizarse a 1m de distancia, de forma tal que las normas oficiales se avocan a los niveles de sonido que produce una fuente particular pero no a la suma de todos los ruidos acústicos que conforman el medio ambiente que envuelve a la población, o bien en al nivel de ruido ambiental en el punto de ubicación del sujeto, de allí la importancia del uso de las medidas  $L(Aeq)$ , que la OMS recomienda no deben ser superiores a 85 dB.

| PESO BRUTO VEHICULAR<br>kg  | LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES<br>Db (A) |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| Hasta 3,000                 | 79                                    |
| Más de 3,000 y hasta 10,000 | 81                                    |
| Más de 10,000               | 84                                    |

**Tabla 7.** Norma NOM-079-(80) SEMARNAT-1994 en la cual se establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido expresados en decibelios (dB A) para vehículos automotores en las cuales se establecen los límites máximos permisibles para automóviles, camionetas, camiones y tractocamiones de acuerdo a su peso bruto vehicular.

| DESPLAZAMIENTO DEL MOTOR EN CENTIMETROS CUBICOS | LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES<br>Db (A) |
|---|---------------------------------------|
| Hasta 449                                       | 96                                    |
| de 450 en adelante                              | 99                                    |

**Tabla 8.** Los límites máximos permisibles de motocicletas y triciclos motorizados son expresados en dB(A) de acuerdo a la capacidad de desplazamiento del motor medido en centímetros cúbicos dentro de la NOM-080-SEMARNAT-1994.

Es importante por ello que se establezcan en México normas oficiales que tomen en cuenta las medidas estandarizadas de exposición prolongada  $L(Aeq)$  y que no sólo se regule la contaminación auditiva que una fuente fija (un establecimiento como una disco, un cine, una fiesta o un concierto) produce hacia el exterior del establecimiento sino también los niveles sonoros a los que un usuario es sometido dentro de dichos establecimientos.

Lo anterior concierne aspectos culturales y enfoques sobre las libertades personales entre lo que “quiero hacer como recreación” y lo que es “saludable”; ya que se consideran más atractivos a aquellos espectáculos o eventos que incluyen una alta sonoridad, como parte de la idiosincrasia del mexicano. A este respecto debe considerarse también que la capacidad individual de prevenir la exposición a sonidos de alta intensidad, se encuentra reducida por varios aspectos.

El primero, es la poca correlación práctica entre la escala de medición del sonido y los sonidos de nuestro entorno, es decir, mediante la interacción cotidiana es que los individuos aprendemos a evaluar magnitudes dentro las escalas de referencia más comunes: metros, Km/hr, litros o kilogramos; pero alguien no especializado difícilmente puede decir cuan grande es un Pascal o un Newton y lo mismo ocurre para la escala dB (SPL), a la cual se suma además la característica de ser logarítmica, por lo que difícilmente un oído no entrenado puede decir cuál es la magnitud de un sonido particular.

Las otras razones que limitan nuestra capacidad de evitar la exposición o la producción de sonidos intensos, se relacionan con el hecho de que los estímulos auditivos que causan daño acústico (>90 dB SPL) se encuentran por debajo del umbral del dolor (>120 dB SPL) por lo que si bien resultan molestos no necesariamente existe una evitación de los individuos hacia ellos, si a lo anterior se suma la adaptación del oído y la pérdida natural de la sensibilidad auditiva con la edad, se obtiene por resultado la tolerancia a sonidos con intensidades cada vez mayores. Por si fuera poco debemos recordar la incapacidad del oído humano para regenerar por lo que el panorama sobre el estado de la salud auditiva en la población es poco alentador.

La legislación adecuada, basada en las bases científicas es necesaria, pero sobre todo su cumplimiento consciente por parte de la población, de allí la importancia de campañas de prevención, las cuales son también nulas en nuestro país.

Una de las principales preocupaciones que surgen a partir de los resultados obtenidos en este trabajo es que dada la extensión del municipio de Puebla no se midió el ruido ambiental en otras horas “pico” por la mañana o tarde-noche, periodos en los cuales podemos suponer también una alta incidencia de contaminación auditiva.

Dentro de las perspectivas de este trabajo podemos citar la necesidad de identificar en la cd. de Puebla segmentos de la población que por cuestiones de desplazamiento o trabajo se encuentren en contacto con las grandes vialidades y por ende sometidos a estrés, alteraciones del sueño o pérdida paulatina de las capacidades auditivas. Objetivo cuya consecución requeriría necesariamente del trabajo multidisciplinario.

Por último, es importante recordar que las fuentes de ruido ambiental son diversas e incluyen desde los ámbitos personal, laboral o de esparcimiento. El transporte aéreo y terrestre son fuentes importantes de ruido, pero no debe desdeñarse la contribución de las actividades de construcción y la industria o a las fuentes comunitarias de ruido como los vecinos, la radio, la televisión, los bares y restaurantes o bien las fuentes a que uno mismo se expone en los cines, en los conciertos y al usar reproductores portátiles de música y audífonos de los teléfonos celulares. El ruido de todas las fuentes es relevante en la evaluación del riesgo por

contaminación acústica y representa un campo olvidado que debe desarrollarse con miras a mejorar la calidad de vida.

## BIBLIOGRAFÍA.

Achenbach JD (1999). Wave propagation in elastic solids. Elsevier Science publisher B. Amsterdam. pp. 29-32.

Ballachanda BB (1997). Theoretical and Applied External Ear Acoustic. J Am Acad Audiol; (8): 411-420.

Baird RA, Desmadryl G, Fernández C, Goldberg JM (1988). The vestibular nerve of the chinchilla. II. Relation between afferent response properties and peripheral innervation patterns in the semicircular canals. J Neurophysiol 60(1):182-203.

Blackstock DT (2000). Fundamentals of Physical Acoustics. Wiley-Interscience publication; pp. 1-27.

Capital, P (15 de Marzo de 2016). *Gobierno Municipal Puebla*. Obtenido de <http://pueblacapital.gob.mx/temas/medio-ambiente/357-medio-ambiente/3824-marco-normativo-y-disposiciones-complementarias>

Cardinali DP (2007). Neurociencia aplicada. Sus fundamentos. Editorial médica panamericana. México. 173-182.

Coba, G. (23 de Enero de 2011). <http://es-facil-comunicacion.blogspot.mx>. Obtenido de <http://es-facil-comunicacion.blogspot.mx/2011/01/ruido-en-la-oficina-en-el-telefono-y-en.html>

CONEVAL (2014). Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Entidades Federativas. Puebla. Recuperado: 10 de Octubre de 2015. <http://www.coneval.gob.mx/coordinacion/entidades/Documents/PPT%20Pobreza14/Puebla%20Pobreza%202014.pdf>

Clack (2002). Patterns and processes in the early evolution of the tetrapod ear. Journal of Neurobiology 53(2):251-64.

Damián SA, Flores M.A, Flores M, Téllez R (2001). ESTUDIO DEL RUIDO GENERADO POR LA OPERACIÓN DEL TRANSPORTE CARRETERO. CASO II, JALISCO. Publicación Técnica No 187 Sanfandila, Qro.

De Esteban AA (2003). Contaminación acústica y salud. Observatorio medioambiental; 6 (73-95); 74,78, 81.

Findeis H y Peters E (2004). Disturbing effects of low frequency sound emissions and vibrations in residential buildings. *Noise Health*. 6(23):29-35.

Fletcher NH, Rossing TD (1991). *The physics of Musical Instruments*. Springer - Verlag New York Inc; Part II; Capítulo 6; Unidad 38, pp. 139-150.

Flores MA, Rascón OA, Mendoza JF, Téllez R (2006). EVOLUCIÓN DEL RUIDO VEHICULAR CARRETERO DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN 2002 A 2006. Publicación Técnica No 296 Sanfandila, Qro.

Fritzsch B, Beisel KW, Jones K, Fariñas 1, Maklad A, Lee J, Reichardt LF (2002). Development and evolution of inner ear sensory epithelia and their innervation. *J Neurobiol* 53: 143-56.

Gidlöf-Gunnarsson A, Ögren M, Jerson T, Öhrström E (2012). Railway noise annoyance and the importance of number of trains, ground vibration, and building situational factors. *Noise Health* 14(59):190-201.

Goines RN, and Hagler MD (2007). *Noise Pollution: A Modern Plague*. Southern Medical Journal 100, (3): 287-294 .

Henderson D, Bielefeld EC, Harris KC, Hu BH (2006). The Role of Oxidative Stress in Noise-Induced Hearing Loss. *Ear & Hearing*; 27(1): 1-19

Hudspeth AJ (1997). How hearing happens. *Neuron* 19(5):947-50.

INEGI (2013). Perfil sociodemográfico: Estados Unidos Mexicanos, Censo de Población y Vivienda 2010. Instituto Nacional Estadística y Geografía. INEGI-México. pp.294.

Jiménez BE (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Editorial Limusa: 577-583.

Kandel ER, Schwartz JH, Thomas JM (2000) *Principles of Neural Science*. Mc.Graw-Hill Companies. 4<sup>th</sup> Edition: 591-624.

Manley GA, Kirk DL, Koppl C, Yates GK (2001). In vivo evidence for a cochlear amplifier in the hair-cell bundle of lizards. *PNAS* 98(5):2826-31.

McLaren E y Armstrong MC (2008). Noise pollution on an acute surgical ward. The Royal College of Surgeons of England; 90; 136-139.

Noticias, O (14 de Diciembre de 2013). *Oro Noticias*. Obtenido de <http://www.oronoticias.com.mx/nota/112202/La-contaminacion-sonora-afecta-el-patrimonio-del-Centro-Historico-de-Puebla-estudio>

Notimex (11 de Febrero de 2016). *Noticias MVS*. Obtenido de <http://www.noticiasmvs.com/#!/noticias/universidad-de-puebla-busca-mitigar-contaminacion-acustica-en-viviendas-401>

Oghalai JS (2004). The cochlear amplifier: augmentation of the traveling wave within the inner ear. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 12(5): 431–438.

Organización Mundial de la Salud (2011). *Burden of Disease from Environmental Noise. Quantification of healthy life years lost in europe*. Edited by Frank Theakston., Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe: 57-92.

Peña M (2008). Bases fisiopatológicas del tratamiento del tinnitus neurosensorial: Rol del sistema auditivo aferente. *Otorrinolaringol. Cir. Cabeza Cuello*, 50.

Puebla H. A (2001). Programa Municipal de Desarrollo Urbano Sustentable de Puebla Tomo 2. Puebla, Puebla, México.

Purves D, Augustine G, FITZPATRICK D, Hall WC, Lamantia AS, McNamara JO, Williams SM (2001). *NEUROSCIENCE: Second Edition*. Sinauer Associates: 183.

Plack CJ (2010). Hearing. *The Oxford handbook of auditory science*. Oxford University Press. New York. USA. Cap. 3

Prashanth M, Venugopalachar S (2011). The possible influence of noise frequency components on the health of exposed industrial workers. *Noise and Health*; 13(50): 16-25.

Ren T (2002). Longitudinal pattern of basilar membrane vibration in the sensitive cochlea. *PNAS* 99 (26): 17101-6.

Resnick R, Halliday D, Kenneth S, Krane (1997). *Física Vol. 1*. Compañía editorial continental, S. A. de C. V. México: 495-511.

Resnick R, Halliday D, Kenneth S, Krane (2001). *Física Vol. 2* Compañía editorial continental, S. A de C. V. México: 507-512.

Ruíz MM, Orozco MG, García J (2006). DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN POR RUIDO EN UNA ESCUELA PREPARATORIA. Semana de la Investigación Científica. Avances en la Investigación Científica en el CUCBA: 661-672.

Rylander R (2004) Physiological aspects of noise-induced stress and annoyance. Journal of Sound and Vibration: 277(3): 471-478.

Salomons (2012). Computational atmospheric acoustic. Springer Science y Business Media. pp. 335. Alemania.

Serway R y Jewett J. Jr (2008). Física para ciencias e ingeniería. Vol. 1. Séptima edición. D. R. por Cengage Learning Editores S. A. de C. V. 501-511.

Serra X, Conte V, Vincent R, Anon E, Tambe DT, Bazellieres E, Butler JP, Fredberg JJ y Trepát X (2012). Mechanical waves during tissue expansion. Nature physics: (8): 628-634.

Soriano C, Guillazo BG, Redolar DA, Torras GM, Vale MA (2007). Fundamentos de Neurociencia. Editorial UOC: 109-135.

Shaw EA (1974). The external ear. En: Handbook of sensory physiology: The auditory system. Editor WD Keidel, WD Neff. Springer-Verlag NY. Vol (1). 455-85.

Squire L., Berg D., Bloom F., Du Lac S., Ghosh A., Spitzer N. (2008). Fundamental Neuroscience. 3<sup>th</sup> Edition, Elsevier Inc: 609-636.

Stansfeld SA, Matheson MP (2003) Noise pollution: non-auditory effects on health. British Medical Bulletin: 68:243-257.

Suárez C, García G-C, Medina LM, Algarra JE, Marco J, Ortega del Alamo P, y Trinidad Pinedo, J. (2007). *Tratado de Otorrinolaringología y cirugía de Cabeza y Cuello*. México: Editorial Medica Panamericana.

Tanaka C, Chen GD, Hu B, Chi L, Lia M, Zhengc G, Bielefelda E, James SD, Colinga D, Henderson D (2009) The effects of acoustic environment after traumatic noise exposure on hearing and outer hair cells. Hear Res: 250 (1): 10-18.

Torras S, Flores MA, Téllez R, Rascón OA (2003) PROPUESTA DE NORMATIVIDAD MEXICANA PARA REGULAR EL RUIDO QUE GENERA LA

OPERACIÓN DEL TRANSPORTE CARRETERO. Documento Técnico No. 30  
Sanfandila, Qro: 1-21.

Universal, E (07 de Mayo de 2015). [www.unionpuebla.mx](http://www.unionpuebla.mx). Obtenido de <http://www.unionpuebla.mx/articulo/2015/05/07/infraestructura/puebla/construcción-de-segundo-piso-genera-contaminación>

Van E, Kruize H, Boshuizen HC (2002). The association between noise exposure and blood pressure and ischaemic heart disease: a meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*: 110:307–317.

Zamora, EP (26 de Noviembre de 2012). [cierredeedicion.blogspot.mx](http://cierredeedicion.blogspot.mx). Obtenido de <http://cierredeedicion.blogspot.mx/2012/11/en-puebla-y-zonas-conurbadas-alto.html>