

# Sonido - Ruido - Generalidades

Sonido como definición es un movimiento de moléculas organizado, causado por un cuerpo en vibración, en algún medio.

Médicamente consideraremos al sonido como toda vibración simple o compleja que por su intensidad es tolerable para el oído humano y genera una sensación de agrado en el individuo.

Por el contrario los ruidos son también sonidos simples o complejos pero disarmonicos y de muy alta intensidad, generando intolerancia o dolor al oído y una sensación de displacer al individuo.

La frecuencia se mide en Hertz (Hz) y el ser humano esta capacitado para percibir frecuencias que van de 20 Hz a 20 KHz.

Aquellos sonidos cuya frecuencia sea inferior a 20 Hz se denominan infrasonidos mientras que cuando es superior a los 20 KHz serán ultra sonidos. Tanto los infra como los ultrasonidos no son audibles pero igualmente pueden ocasionar alteraciones físicas y/o psíquicas.

Para que el sonido se transmita necesita de un medio elástico (en el vacío no hay propagación de sonido).

La cantidad de metros por segundo con que las ondas se alejan de la fuente emisora se la denomina velocidad de propagación dependiendo esta del medio en cuestión. En el aire la velocidad del sonido es de 344 m/s mientras que en el agua es de 1500 y en el acero es de 5000 m/s.

El ruido puede ser clasificado en:

- Tonos puros
- Sonidos de banda estrecha
- Sonidos de banda ancha
- Sonidos explosivos
- Sonidos de impacto

Es tentadora la idea de hacer una fórmula que determine la lesión que generaría un ruido. El problema esta dado por la gran cantidad de variables como ser intensidad, forma de presentación, frecuencia, tiempo de exposición, ambiente, etc. y relacionarlo con la susceptibilidad individual y los antecedentes personales.

## **Características del sonido:**

- Frecuencia: es el número de ondas completas o ciclos de una cantidad periódica ocurriendo en una unidad de tiempo (usualmente 1 segundo).

Respecto a las frecuencias bajas o vibraciones las que son transmitidas por el suelo o por contacto directo con el elemento generador facilitarían la lesión del oído interno por microdesgarros y lesiones vasculares.

Como veremos mas adelante existen varias teorías acerca del porque se lesiona la zona coclear correspondiente a las frecuencias del orden de los 4

KHz. Una de ellas es que el oído externo actuaría como un resonador amplificando en 10 dB o más las frecuencias de 2 a 5 KHz.

Las frecuencias más nocivas para el oído humano son las que están entre los 2 y 3 KHz y son estas las que más frecuentemente se encuentran en las industrias.

- **Intensidad:** es la potencia en energía por segundo transmitida a través de una área de 1 metro cuadrado, orientada perpendicularmente a la dirección de la propagación de la onda.

La intensidad de presentación de un sonido puede ser variable y según los valores de las variaciones puede ser considerado como noxa intermitente y noxa con sobrenoxa.

La intensidad como noxa intermitente corresponde a un estímulo continuo de baja intensidad (por debajo de los 80 dB) con momentos en los que la presión sonora supera los 100 dB. La intensidad que actúa como noxa con sobrenoxa es aquella en la que el estímulo de base supera los 90dB e intermitentemente sobrepasa los valores de presión sonora de 100 dB.

La energía de un sonido desde un punto de vista físico se duplica cada 3 dB aproximadamente, por ejemplo, la energía recibida durante 8 horas a 90 dB es igual a 4 horas a 93 dB. En algunos países donde existe reglamentación industrial severa (EEUU) toman en cuenta que la duplicación de los valores energéticos se produciría cada 5 dB.

Por debajo 80 dB el oído humano no presenta alteraciones definitivas. Estos niveles generan molestias pasajeras denominadas fatiga auditiva, donde los elementos transductores (oído interno) no sufren problemas definitivos. Cuando la intensidad supera los 90 dB comienzan a aparecer lesiones irreversibles tanto mayores cuanto mayor sea la exposición y la susceptibilidad personal.

- **Tiempo:** En este punto debemos considerar tres tiempos. El tiempo de duración de un sonido o ruido, el tiempo de percepción y el tiempo de exposición en el cual es importante considerar, la duración del estímulo y periodo de descanso.

Tal como cualquier otro sistema sensorial la audición necesita de cierto tiempo de estimulación para que pueda ser percibida.

La percepción implica un inicio y una finalización, cuanto más intenso es el estímulo menor será el tiempo de presencia necesario para que sea percibido. Respecto a la finalización, la misma no concuerda con el cese del estímulo, manteniéndose la sensación audible tanto más tiempo como intenso sea el estímulo presentado. El reclutamiento y la fatiga como alteraciones funcionales cocleares distorsionan las reglas de percepción entre el tipo estímulo, intensidad y tiempo.

La duración de estímulo está en relación directa con la lesión coclear mientras que el periodo de descanso está en relación inversa.

Cuanto mayor es el tiempo de exposición mayor será la posibilidad de lesión aunque la intensidad sonora no sobrepase los 90 dB. Si la exposición al ruido es intermitente u ocasional la lesión que se puede generar estará en relación directa a la intensidad.

## El oído

El oído es un sistema de actividad física múltiple y anatómicamente puede ser subdividido en tres partes.

Relación entre sección del oído y su función:

Sección		Función
Oído Externo	Pabellón	Orientador – Protector
	CAE	Amplificador
Oído Medio	Timpano-oscicular	Transformador acústico – mecánico
	Trompa	Regulación presión
Oído Interno	Unidad coclear	Transductor – Amplificador
	Unidad vestibular	Equilibrio
Nervio Auditivo		Transportador
Corteza cerebral		Decodificador – Integrador

- **Oído externo**

El oído externo está compuesto por el pabellón y el conducto auditivo externo, ambos permiten el arribo de las ondas sonoras (por resonancia se ven favorecidas las frecuencias entre los 2 KHz y 5 KHz) al oído medio.

- **Oído externo**

El oído externo está compuesto por el pabellón y el conducto auditivo externo, ambos permiten el arribo de las ondas sonoras (por resonancia se ven favorecidas las frecuencias entre los 2 KHz y 5 KHz) al oído medio.

### Músculos del oído medio

Existen en el oído medio dos estructuras musculares.

El músculo del martillo tiene dos sectores, el muscular ubicado en el pico de cuchara sobre la cara interna de la caja, a nivel de la apófisis cocleariforme hace el tendón reflejo para insertarse cercano al límite inferior de cuello.

El músculo del estribo notoriamente más pequeño que el anterior tiene igualmente dos porciones, la muscular ubicada por delante de la tercera porción del facial (conducto de Huguier) y una tendinosa que emergiendo en la caja por la pirámide se inserta entre el cuello y la crura posterior del estribo.

Los músculos del martillo y del estribo, tienen función protectora, el primero tensa la membrana timpánica y fija la cadena de huesillos mientras que el

segundo, músculo del estribo, no solo fija al estribo sino que simultáneamente extrae la platina del vestíbulo.

Estos músculos actúan en forma refleja, bilateral y simétrica con un tiempo de respuesta entre 60 y 200 mseg. De manera que aquellos ruidos cuya forma de presentación y de máxima intensidad sean inferiores a ese tiempo de latencia no permitirán que el mecanismo de protección se active, tal el caso del estampido por arma de fuego.

La función de los músculos de estribo y del martillo es amortiguación de la intensidad sonora. De esta forma limitarían los movimientos de la cadena osicular según la intensidad del sonido y actuarían como mecanismo corrector destinado a atenuar los estímulos demasiado violentos.

El estado muscular tiene distintos períodos, contracción, reacción y relajación dependiendo de la intensidad y forma del estímulo (Azoy). Por lo tanto, en presencia de un ruido discontinuo, se interferiría el mecanismo de contracción - protección, dando lugar a contracciones crónicas, tónicas y estados de espasmos, que dejarían al oído interno sin defensa.

KATO ha demostrado que la inactividad de dichos músculos facilita la aparición de la sordera en el animal expuesto al ruido continuo de gran intensidad, aunque las características del mismo sean naturales.

Por su parte VON BEKESY evidencio el efecto de la contracción del músculo estapedial. Bajo los efectos de ruidos de gran intensidad la contractura del músculo del estribo hace bascular el huesillo en el eje longitudinal anteroposterior de la platina. Este mecanismo genera una disminución mecánica de la intensidad para bajas frecuencias de 45 dB para un sonido de 65Hz.

LORENTE DE NO, sugiere el hecho de que el músculo del estribo reacciona ante las bajas frecuencias y el tensor del tímpano se contrae bajo la influencia de tonos mas agudos.

El mecanismo de protección generado por los músculos es mucho mas efectivo para bajas (inferiores a 2 KHz) que para las altas frecuencias.

- **Oído interno**

El transductor es por definición todo sistema capaz de modificar el tipo de información de entrada respecto al de salida. El oído interno tiene la capacidad de transducir la energía mecánica en bioeléctrica. (transducción natural)

Sin entrar en detalles diremos que las vibraciones que son transmitidas por el sistema tímpano - osicular al sistema liquido laberintico ocasionan unas ondas que determinan una activación de las células ciliadas las cuales generan un

impulso eléctrico que por medio del nervio auditivo arriban a la corteza cerebral.

El órgano de Corti esta compuesto por:

Elementos de sostén

Células sensoriales

Membrana tectoria

Los elementos de sostén son la lamina espiral, la membrana basilar y el ligamento espiral. Sobre la membrana basilar se encuentran los pilares de Corti, externo e interno que conforman el túnel de Corti y las células de Deiters, Hensen y Claudius las que sirven de base a las células ciliadas.

Los elementos celulares son las células ciliadas o sensoriales las cuales se dividen en externas, alineadas en tres filas y las internas, en una sola hilera.

La membrana tectoria se adosa a la lamina espiral por su extremo interno, el extremo externo, libre, esta engrosado permitiendo el contacto con las ciliias celulares.

## Patogenia

El "ruido" es un elemento altamente contaminante del ambiente sonoro que nos rodea, y que preocupa por su condición de agente nocivo sobre la audición.

Como consecuencia del ruido a nivel laboral y social (vivir en las grandes urbes) un tercio de la población mundial ve afectado su calidad de vida. Desde el punto de vista clínico, se produciría: hipoacusia, acúfenos, vértigo, inestabilidad, trastornos sociales (vinculados a la conducta humana) y diversos síntomas ocasionales frecuentemente difíciles de evaluar y determinar.

### **Ruido y umbrales auditivos**

El ruido intenso puede modificar "temporariamente" la audición lo que se interpreta como "fatiga" del oído interno. Esta situación se conoce como cambio de la sensibilidad absoluta, por el "desplazamiento temporal del umbral auditivo" o T.T.S (Temporal Threshold Shift).

En circunstancias de exposición prolongada o ruidos muy intensos se produciría el "desplazamiento permanente del umbral auditivo" o P.T.S. (Permanent Threshold Shift).

El "desplazamiento temporal del umbral auditivo" por excesiva exposición al ruido, constituye un elemento de interés para otólogos, clínicos, higienistas e investigadores ya que es uno de los pilares básicos, en el estudio del comportamiento de la audición frente al ruido intenso.

El TTS se puede observar desde el primer día de trabajo en ambientes ruidosos, al salir de un lugar de esparcimiento o frente a cualquier situación
---

acústica similar, el mismo va desapareciendo (el oído va recuperando sus umbrales normales) inicialmente en periodos relativamente cortos, siempre que al ruido le siga un estado de reposo auditivo.

Luego de la restitución completa de la audición por recuperación post - fatiga, el TTS, puede presentarse nuevamente sin que todavía exista daño auditivo definitivo.

La fatiga auditiva o hipoacusia transitoria, consecuencia de la variación temporaria del umbral auditivo o TTS, parece ser consecuencia de fenómenos determinantes y complejos. Estos procesos corresponden a alteraciones bioquímicas, enzimáticas, concentración iónicas y moleculares, en intensidades aun no totalmente aclaradas (Wethold L.J. y col).

En el órgano de Corti especialmente en las células ciliadas y en las terminaciones nerviosas se puede observar morfológicamente desde una estructura normal a un edema cuya reversibilidad funcional la observamos cotidianamente en las curvas de recuperación auditiva tanto clínica como experimentalmente (Debas J ).

La repetición del TTS en función del tiempo puede originar que las lesiones del oído interno reversibles se tornen irreversibles, determinando una pérdida de audición de características definitivas (PTS).

La exposición prolongada a un ruido continuo, produciría microlesiones del Organó de Corti, siendo esta la base de la hipótesis del micro- trauma y que es avalada por los defensores de la teoría de la energía acumulativa.

### **Intensidad – Tiempo de exposición – Lesión histológica**

El mecanismo por el cual el ruido intenso, puede llegar a producir en el hombre la destrucción de un grupo de elementos celulares del oído interno incluyendo a las células ciliadas y fibras nerviosa (particularmente la porción amielinica) aun no esta absolutamente determinado.

La "Occupational and Health Administration" (OSHA) estableció la siguiente tabla de permisibilidad de niveles de ruido en función del tiempo de exposición:

Exposiciones permisibles al Ruido de la OSHA

<b>Duración</b>	<b>SPL</b>
(horas / día)	(en escala dB, respuesta lenta)
8	90
6	92
4	95
2	100
1	105
30 minutos	110
15 minutos	115

Es también posible que el daño auditivo definitivo pueda ser producido por una única exposición a un ruido de alta intensidad

Existen cinco factores básicos que se encuentran en relación con el daño auditivo:

- Intensidad de ruido
- Distribución de los componentes frecuenciales del ruido
- Duración de la exposición
- Tipo de ruido: continuo, intermitente o impulsivo
- Susceptibilidad personal

Nosotros realizamos realizamos una serie de estudios experimentales en cobayos (Debas y col. 1980) mediante potenciales evocados auditivos de tronco cerebral con electrodos implantados en forma definitiva a nivel subcutáneo.

Se comenzó determinando la relación entre la intensidad y tiempo de exposición sonora con el umbral de lesión tisular coclear para seguir con la determinación del estado auditivo luego de la exposición a ruidos de diferentes características con intervalos libres de estímulo. La evaluación continuo en todos los grupos hasta la desaparición de las variaciones de umbral y su recuperación funcional total.

De la observación clínica, se puede deducir que todo individuo que ha sido retirado de un ambiente ruidoso con perdida auditiva aguda, puede esperar una regresión espontánea en mayor o menor grado de su sintomatología y en algunos casos una recuperación a la normalidad.

En un estudio clínico basado en las otoemisión acústicas en pacientes con lesiones compatibles con daño auditivo inducido por ruido (Debas y col. 1991) estudiamos la curva tonotópica de respuesta y el umbral de las mismas, en función de la intensidad del estímulo.

Estas observaciones demostraron claramente la gran utilidad del examen de las otoemisiones en los traumas acústicos ya que miden fundamentalmente la respuesta de las células ciliadas externas, que son las primeras en afectarse tanto en el TTS o en el PTS.

También, en base a las experiencias realizadas, se determino que el estudio puede ser utilizado como prueba de fatiga del oído interno al estímulo acústico ya que nos indica el tiempo de recuperación a la normalidad del umbral y la intensidad de las otoemisiones acústicas en cada paciente.

### **Ruidos iatrogénicos**

Estudios relativamente antiguos dentro de la edad de la cirugía otológica demostraron que el trauma acústico puede ser producido por el ruido del torno quirúrgico en el tratamiento de las otitis medias crónicas y especialmente en la cirugía de la otosclerosis (Schuknecht y Toondorf).

Se realizo el estudio en gatos, contactando la apófisis larga del yunque con una fresa diamantada de ½ mm de diámetro. El tiempo de contacto fue de 10, 15 y 30 segundos, posteriormente los animales fueron sacrificados.

Entre los 10 y 15 segundos de estimulación se encontró en el órgano de Corti alteración de las células mesoteliales pero si la estimulación se prolongaba aparecían lesiones de las células ciliadas pero no en las ganglionares.

Debemos hacer hincapié en la obligación como cirujanos otológicos de extremar los cuidados para evitar las vibraciones innecesarias a la cadena.

### **Válvulas de seguridad**

Están descritas dos válvulas de seguridad, la primera corresponde al oído medio mientras que la segunda se encontraría en el oído interno.

Yoshii en el año 1909 describió que si una exposición a ruido intenso o explosión ha alterado la integridad del tímpano, la lesión auditiva será menor que si el tímpano quedara indemne. Se interpreta como que la ruptura ha disminuido la transmisión de la energía al oído interno.

Beagley en al año 1965 observo en cobayos expuestos a 128 dB durante 20 minutos a un tono puro de 500 Hz., que el daño de las células ciliadas es directamente proporcional a la unión entre las células de sostén (Hansen y Deitery; es decir que si la unión esta intacta puede esperarse mas daño en las células ciliadas.

### **Daños tisulares**

Existe una gran variedad de exposiciones que pueden dañar el Organo de Corti y las clasificaremos según:

Intensidad  
Tiempo de exposición

Según la intensidad sonora se puede clasificar a los ruidos en:

Ruidos muy intensos	mas de 105 dB
Ruidos intensos	de 100 a 105 dB
Ruidos moderados	de 90 a 95 dB

La siguiente clasificación (Instituto Central para el sordo en la Universidad de Washington) se basa en la intensidad del ruido y la duración necesaria para producir daño auditivo:

- Daño auditivo por exposiciones sonoras cortas y muy intensas:  
Histologicamente se encontró una porción del Organo de Corti separada de la Membrana Basilar flotando libremente en la escala media y las células desprendidas presentaban morfología aparentemente normal.

Esto hace pensar que el daño es de causa mecánica y que el gran desplazamiento de la membrana basilar durante el ruido genere suficiente
--



energía como para relacionarlo con la ruptura de cualquier parte del oído interno.

- Daño auditivo producidos por horas o días de exposición sonora:  
Aquí intervienen mas de un mecanismo de producción de daño auditivo. Según tiempo de exposición e intensidad sonora la histología del Organo de Corti puede ser desde normal (en los casos con recuperación total de los umbrales) hasta presentar una falta absoluta de la arquitectura histica coclear.

Para los estudios se estimularon cobayos con a ruidos de alta intensidad y luego de 30 días de no estimulación se los sacrificaron, suponiendo que luego de ese periodo de descanso las posibles alteraciones generadas en el órgano de Corti habrían alcanzado un estado estable.

Histologicamente se encontró un primer grupo de animales sin ningún tipo de alteración y un segundo grupo que presentaba lesiones parciales o totales.

Las alteraciones son consideradas como consecuencia de cambios del medio químico del oído interno, debidas a la degeneración celular y posterior liberación de sus contenidos citoplasmaticos en los espacios extracelulares.

Es muy importante consignar que este cambio del medio puede afectar también a aquellas células que no fueron originalmente dañadas por la exposición sonora.

En relación a la fisiopatología del trauma acústico, podemos destacar los siguientes puntos:

- La exposición a intensidad sonora elevada, puede provocar lesión causa mecánica. Con frecuencia por desprendimiento de una porción del órgano de Corti de la membrana basilar. Desde el punto de vista vascular las células ciliadas externas son las primeras en ser dañadas por la isquemia.
- El daño inicial de la célula sensorial es probable que pueda ser producido por un cambio en la permeabilidad de membrana.
- Los espacios vacíos de la lamina reticular por daño celular previo, ponen en contacto la endolinfa con los espacios líquidos del órgano de Corti.
- La elevada concentración de potasio puede provocar en células ciliadas y fibras amielínicas no dañadas un edema osmótico y su eventual ruptura.

Estos conceptos teóricos, se basan en la observación de animales expuestos a diferentes tipos de ruido.

#### **Clasificación histológica**

Esta clasificación se basa en los daños producidos a nivel del órgano de Corti por la exposición a ruidos.

Covell y col.; Davis y col., desarrollaron una escala de nueve puntos resumiendo los aspectos básicos en la evolución del daño tisular encontrado.

- **Nivel 1 y 2:** Normal
- **Nivel 3 y 4:** Cambios reversibles  
Tumefacción moderada  
Picnosis de las células ciliadas  
Redistribución ciliar  
Pequeñas vacuolas de las células de sostén (Hansen, Deiters y Claudius)  
Desplazamiento en la fina capa de células en la superficie basal de la membrana  
Es probable que todos estos cambios sean reversibles y representen parte de la contrapartida fisiológica de la fatiga auditiva.
- **Nivel 5 y 6:**  
Marcada tumefacción y desintegración  
Picnosis y cariorrexis de las células ciliadas externas  
Fracturas y fusión de los estereocilios y cilias  
Grandes vacuolas y separación de las células de sostén  
Alteración de las células ciliadas internas
- **Nivel 7:**  
Células ciliadas ausentes  
Células de Deiters separadas de la membrana basilar.  
No se observan células mesoteliales
- **Nivel 8:**  
Mayor número de las células ciliadas externas ausentes e incluso internas  
Ruptura de la membrana de Reissner.
- **Nivel 9:**  
Células ciliadas totalmente destruidas  
Órgano de Corti colapsado o ausente.

Existiría una relación entre las lesiones histológicas de las células de sostén y en particular de los pilares del túnel de Corti respecto a la degeneración de las células ganglionares.

### Electromicrofotografías

Las fotografías electromicroscópicas (B. Engström y E. Borg) muestran las células pilosas de un oído normal (fig.1) (6000:1) y en la imagen (3000 : 1) las células pilosas dañadas (flechas negras) de un cobayo expuesto al ruido por disparo de escopeta (fig. 2)

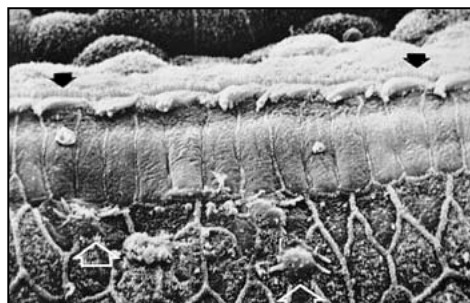
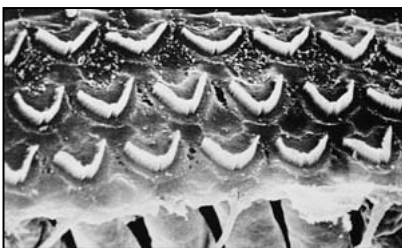


Fig. 1

Fig. 2

En la figura 3 se observa que la disposición normal de las células capilares, con sus espacios regulares en forma de W (fig. 1), ha sido modificada faltando muchas células ciliadas (estrellas – Fig. 3 - 2200 X), y algunas células se asemejan a columnas (flechas – Fig. 3 y 4 - 3000 X ).

Fig.3

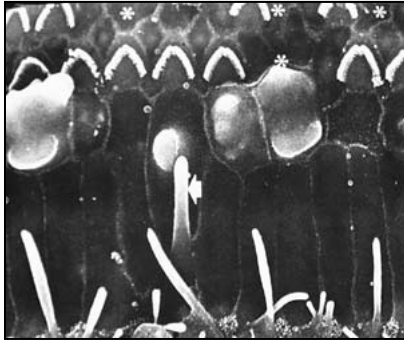


Fig.4

