

binaural – binaural

Authored by
memjavad

November 7, 2025

RECOMMENDED CITATION

memjavad (2025). *binaural – binaural*. Spanish Psychological Databases. Retrieved from <https://spanish.arabpsychology.com/?p=3241>

Binaural

Primary Disciplinary Field(s): [Acústica](#), [Psicoacústica](#), Neurociencia, Ingeniería de Audio.

1. Definición Central y Fisiología

El término **binaural** se refiere a la audición que utiliza ambos oídos de manera simultánea, un proceso fundamental que permite a los organismos, incluidos los humanos, localizar con precisión la fuente de un sonido en el espacio tridimensional. Este proceso no es simplemente la suma de dos señales monoaurales; más bien, implica la comparación neuronal altamente sofisticada de las diferencias sutiles que existen entre el sonido percibido por el oído izquierdo y el oído derecho. Estas diferencias, conocidas como claves binaurales, son el resultado directo de la geometría de la cabeza y el torso, que introduce variaciones en el tiempo de llegada y la intensidad de las ondas sonoras. La capacidad de procesamiento binaural es esencial para la supervivencia y la comunicación, ya que facilita la segregación de la señal auditiva del ruido de fondo, un fenómeno conocido como el "efecto cóctel".

Fisiológicamente, el procesamiento binaural comienza en la cóclea, donde las vibraciones sonoras se convierten en impulsos eléctricos. Sin embargo, la verdadera comparación binaural ocurre en el tronco encefálico, específicamente en la **Oliva Superior** (Superior Olivary Complex). Esta estructura es crítica porque actúa como un circuito de detección de coincidencias, donde las neuronas comparan las señales temporales y de amplitud que llegan desde ambos núcleos cocleares. La precisión de este mecanismo es asombrosa, capaz de detectar diferencias de tiempo interaural (ITD) de tan solo 10 microsegundos. Este procesamiento inicial es crucial para codificar la información espacial antes de que sea transmitida a estructuras superiores del cerebro, como el colículo inferior y la corteza auditiva.

La audición binaural es lo que permite la **externalización** del sonido, haciendo que la fuente sonora se perciba como si viniera de un punto en el espacio fuera de la cabeza, en contraste con la sensación "dentro de la cabeza" que a menudo se experimenta con la escucha monoaural o estéreo no espacializada. Además, este mecanismo juega un papel vital en el fenómeno de la **prioridad temporal** o el efecto de precedencia, donde el cerebro utiliza la primera señal sonora que llega (generalmente la directa) para determinar la ubicación, suprimiendo la información espacial de ecos y reverberaciones posteriores. Este complejo sistema asegura que nuestra percepción espacial sea estable y coherente incluso en entornos acústicamente complejos y reverberantes.

2. Desarrollo Histórico y Etimología

El término **binaural** proviene del latín, combinando el prefijo *bi-* (que significa "dos") y *auris* (que

significa "oído"). Aunque el concepto de escuchar con dos oídos es tan antiguo como la vida animal, su estudio científico formal se consolidó a finales del siglo XIX. Uno de los pioneros en la investigación de la localización sonora fue Lord Rayleigh (John William Strutt), quien, en la década de 1870, formuló la primera hipótesis científica sobre cómo el cerebro utiliza las diferencias interaurales para determinar la dirección de un sonido. Rayleigh demostró que las diferencias de intensidad (ILD) eran la clave para la localización de sonidos de alta frecuencia, mientras que las diferencias de fase o tiempo (ITD) eran esenciales para los sonidos de baja frecuencia.

Durante la primera mitad del siglo XX, la investigación se centró en mapear las rutas neurales y refinar los modelos psicoacústicos. El desarrollo de la [estereofonía](#) por Alan Blumlein en la década de 1930 representó un avance tecnológico crucial. Si bien la estereofonía busca crear una ilusión espacial utilizando dos canales, no es intrínsecamente binaural, ya que la reproducción estéreo tradicional a través de altavoces no incorpora las complejas interacciones de la cabeza del oyente (las HRTFs). Sin embargo, el trabajo de Blumlein sentó las bases para la manipulación y la reproducción multicanal que eventualmente llevaría a la grabación binaural dedicada.

El verdadero interés en la **grabación binaural** resurgió con fuerza en la década de 1970, impulsado por el desarrollo de la tecnología de "cabeza artificial" (dummy head). Estos sistemas de grabación utilizaban micrófonos colocados con precisión en los canales auditivos de una réplica anatómica de la cabeza humana, buscando capturar las señales acústicas con las coloraciones exactas que sufrirían al pasar por el pabellón auditivo, la cabeza y el torso. Aunque inicialmente limitado a nichos audiófilos debido a la necesidad de escuchar exclusivamente con auriculares, el concepto de grabación binaural se ha convertido en la piedra angular de las tecnologías de audio inmersivo modernas, especialmente en el contexto de la realidad virtual y la realidad aumentada, donde la localización espacial precisa es indispensable.

3. Mecanismos Clave de la Audición Binaural

La audición binaural se basa en la capacidad del sistema nervioso para analizar y fusionar la información temporal y espectral recibida en cada oído. El mecanismo subyacente requiere una comparación extremadamente rápida y precisa, que se lleva a cabo principalmente en el complejo olivar superior. Este proceso es vital no solo para la localización horizontal (azimut) sino también para mejorar la relación señal-ruido, permitiendo al oyente concentrarse en una fuente sonora específica en un ambiente ruidoso, un efecto conocido como **desenmascaramiento binaural**.

En el aspecto neurológico, existen dos circuitos principales en la oliva superior que manejan las claves binaurales. El núcleo medial de la oliva superior (MSO) está especializado en el procesamiento de las **Diferencias Interaurales de Tiempo (ITD)**. Las neuronas MSO actúan como detectores de coincidencia, disparándose solo cuando los impulsos nerviosos de ambos oídos llegan simultáneamente, lo que permite al cerebro mapear la posición angular del sonido

basándose en el retraso. Este sistema es más efectivo para sonidos de baja frecuencia, donde la longitud de onda es mayor que el diámetro de la cabeza, permitiendo un seguimiento preciso de la fase de la onda sonora.

Por otro lado, el núcleo lateral de la oliva superior (LSO) se encarga de procesar las **Diferencias Interaurales de Nivel (ILD)**. Estas diferencias de intensidad surgen porque la cabeza proyecta una "sombra acústica", atenuando las altas frecuencias en el oído más alejado de la fuente sonora. Las neuronas LSO operan mediante un mecanismo excitatorio-inhibitorio: la señal del oído más cercano excita la neurona, mientras que la señal del oído más lejano la inhibe, amplificando así la diferencia de intensidad percibida. Este mecanismo es crucial para la localización de sonidos de alta frecuencia, donde las ITD pueden volverse ambiguas debido a la corta longitud de onda.

4. Características Distintivas (Claves Binaurales)

La percepción espacial auditiva depende de la interpretación de varias claves acústicas que son modificadas por el cuerpo del oyente antes de llegar al tímpano. Estas claves son esenciales para la creación de una imagen sonora completa y tridimensional.

Diferencia Interaural de Tiempo (ITD): Esta es la diferencia en el tiempo exacto en que una onda sonora llega a cada tímpano. Para un sonido que proviene directamente del lado (90 grados de azimut), la ITD puede ser de aproximadamente 600 a 700 microsegundos. El cerebro utiliza estas diferencias temporales para la localización horizontal, siendo más efectiva para frecuencias inferiores a 1500 Hz. La **ambigüedad de fase** ocurre cuando la longitud de onda es tan corta que la diferencia de tiempo corresponde a múltiples ciclos de fase, haciendo que la ITD sea inútil para altas frecuencias.

Diferencia Interaural de Nivel o Intensidad (ILD/IID): Esta es la diferencia en la amplitud o volumen del sonido percibido en cada oído. Se crea debido al **Efecto de Sombra Acústica**, donde la cabeza atenúa las ondas sonoras, especialmente las de alta frecuencia, que deben rodearla para llegar al oído opuesto. La ILD es la clave principal para la localización de sonidos con frecuencias superiores a 2000 Hz. Una diferencia de unos pocos decibelios es suficiente para que el cerebro determine la dirección.

Función de Transferencia Relacionada con la Cabeza (HRTF - Head-Related Transfer Function): La HRTF es una medida compleja que describe cómo la cabeza, los pabellones auditivos (pinna) y el torso filtran y reflejan el sonido antes de que llegue al canal auditivo. La HRTF es crucial porque proporciona las claves necesarias para la localización en el plano vertical (elevación) y para resolver la confusión entre fuentes frontales y traseras. Dado que la geometría de cada oído es única, cada persona posee una HRTF ligeramente diferente, lo que explica por qué los sistemas binaurales más efectivos utilizan HRTFs individualizadas.

Efecto de la Sombra Acústica: Más allá de generar la ILD, la sombra acústica es un filtro dinámico. La cabeza actúa como un obstáculo para las ondas sonoras. Cuanto mayor sea la frecuencia de la onda (y, por lo tanto, más corta su longitud de onda), más eficazmente será reflejada o absorbida por la cabeza, creando una atenuación significativa en el oído lejano. Este efecto es la razón principal por la que la ILD es la clave dominante para la localización de sonidos agudos.

La combinación y la integración de las ITD, ILD y las complejas claves espectrales codificadas en la HRTF permiten al sistema auditivo humano crear una imagen sonora tridimensional coherente y robusta. La HRTF, en particular, es lo que distingue la audición binaural completa de la audición estéreo simple, ya que introduce las variaciones espectrales necesarias para la percepción de la elevación y la distancia.

5. Aplicaciones Tecnológicas y Artísticas

La comprensión profunda de la audición **binaural** ha revolucionado varios campos tecnológicos y artísticos. En la ingeniería de audio, la técnica de **grabación binaural** pura, que utiliza micrófonos espaciados y ubicados dentro de una cabeza artificial, permite capturar una escena sonora con una dimensionalidad y realismo inigualables cuando se reproduce a través de auriculares. Esta técnica es utilizada por artistas para crear grabaciones inmersivas y por ingenieros para documentar paisajes sonoros con alta fidelidad espacial.

La aplicación más significativa y de mayor crecimiento del procesamiento binaural se encuentra en la **Realidad Virtual (VR)** y la **Realidad Aumentada (AR)**. Para que una experiencia virtual sea verdaderamente inmersiva, el audio debe ser espacialmente coherente con el entorno visual. Los motores de audio de VR utilizan algoritmos de renderizado binaural (basados en HRTFs) para simular el sonido de fuentes virtuales que se mueven alrededor del usuario. Esto requiere un cálculo en tiempo real que tenga en cuenta la posición y orientación de la cabeza del oyente (utilizando seguimiento de cabeza) para actualizar dinámicamente las claves ITD, ILD y HRTF, asegurando que el sonido parezca provenir de una fuente externa fija en el espacio virtual.

En el ámbito de la **audiología** y la medicina, la audición binaural es fundamental para el diseño y la optimización de [audífonos](#) avanzados. Los dispositivos modernos utilizan procesamiento binaural para mejorar la inteligibilidad del habla en entornos ruidosos. Al permitir que los audífonos izquierdo y derecho se comuniquen entre sí, pueden coordinar la supresión de ruido y enfocar automáticamente la dirección del sonido deseado, imitando la capacidad natural del cerebro para el desenmascaramiento binaural. Esto mejora dramáticamente la calidad de vida de las personas con pérdida auditiva, restaurando parte de su capacidad de localización espacial.

6. Importancia y Relevancia Cognitiva

La relevancia de la audición binaural trasciende la mera localización espacial; es un componente crítico de la cognición humana y la interacción ambiental. Desde una perspectiva evolutiva, la capacidad de localizar rápidamente una fuente sonora (ya sea una amenaza o una presa) ofreció una ventaja significativa. Hoy en día, esta función se traduce en la habilidad de enfocar la atención y reorientar el cuerpo hacia eventos acústicos relevantes, incluso cuando la visión está obstruida o distraída.

Cognitivamente, la audición binaural es indispensable para el **Efecto Cóctel**. Este fenómeno describe nuestra capacidad de escuchar y comprender una conversación específica en medio de un ambiente ruidoso y lleno de otras voces. El cerebro utiliza las claves binaurales (principalmente las ITD y las ILD) para segregar las diferentes fuentes sonoras en el espacio. Si el discurso deseado y el ruido de fondo llegan con diferentes claves binaurales, el cerebro puede diferenciar sus ubicaciones y, por lo tanto, atenuar el ruido, mejorando significativamente la relación señal-ruido percibida para la fuente de interés. Sin la audición binaural, la inteligibilidad del habla en entornos complejos se vería drásticamente reducida.

Además, la información espacial auditiva se integra íntimamente con los sistemas visuales y vestibulares. La coherencia entre lo que oímos y lo que vemos es fundamental para nuestra sensación de presencia y equilibrio. Cuando se utilizan sistemas de audio binaurales en aplicaciones como simuladores de vuelo o rehabilitación, la precisión espacial del sonido contribuye a la **conciencia situacional** general. Una representación espacial precisa del sonido puede reducir la carga cognitiva al liberar recursos que de otro modo se dedicarían a intentar descifrar la ubicación de la fuente sonora.

7. Debates y Limitaciones del Modelo

A pesar de los avances tecnológicos, la implementación y modelización de la audición binaural presentan desafíos significativos que son objeto de debate continuo en psicoacústica y acústica computacional. Uno de los problemas más persistentes es la **confusión frontal-trasera**. Las ITD y las ILD son simétricas en el plano horizontal para sonidos que provienen de la parte delantera o trasera (el llamado "cono de confusión"), lo que hace que la localización horizontal sea ambigua. El oyente natural resuelve esto mediante movimientos sutiles de la cabeza y, crucialmente, utilizando las claves espectrales únicas proporcionadas por la HRTF, que son asimétricas en los planos frontal y trasero.

La principal limitación en la aplicación comercial del audio 3D es el uso de **HRTFs genéricas**. Debido a que la HRTF es altamente individualizada--dependiendo de la forma única de la oreja externa (pinna) de cada persona--, un modelo estandarizado (por ejemplo, el de una "cabeza artificial" promedio) a menudo no logra proporcionar una externalización convincente para todos

los oyentes. Muchos usuarios que escuchan audio binaural no personalizado a través de auriculares perciben el sonido como si viniera de dentro de su cabeza, un fallo en la simulación espacial. La solución ideal, la medición individualizada de la HRTF, sigue siendo costosa y logísticamente compleja para el consumidor promedio.

Otro debate se centra en la modelización de la **reverberación y la acústica de la sala**. Si bien los algoritmos binaurales son efectivos para localizar fuentes puntuales en el espacio libre (anecoico), simular cómo las reflexiones tempranas y tardías interactúan con las claves binaurales de una manera perceptualmente correcta sigue siendo un desafío computacional. La reverberación puede degradar la precisión de las ITD y las ILD. Los modelos deben no solo renderizar el sonido directo de forma binaural, sino también aplicar filtros HRTF a múltiples reflexiones con sus correspondientes retrasos y atenuaciones, lo que requiere una potencia de procesamiento considerable y una validación perceptiva constante para garantizar el realismo.

Further Reading

[Psicoacústica \(Wikipedia en español\)](#)

[Función de Transferencia Relacionada con la Cabeza \(HRTF\)](#)

[Estereofonía](#)

[Audífono](#)