

Grabación binaural. Introducción y aplicaciones

José Liaño

Álava Ingenieros, S.A.

e-mail: jliano@alava-ing.es

Mediante la tecnología de grabación binaural se consigue reproducir fielmente un sonido de forma que la percepción del oyente es tal y como si estuviera en el lugar y en el entorno en el que se grabó. Es tal el realismo que se alcanza que todo el que oye una grabación binaural por primera vez gira la cabeza sorprendido como si realmente hubiera alguien detrás o a su lado. Mis hijos gritan emocionados “hay un fantasma” cuando oyen a alguien hablar o moverse delante de ellos pero no pueden verlo. Más allá de la curiosidad o la sorpresa, esta tecnología se utiliza con éxito desde hace décadas en diversos campos de la ingeniería acústica y la investigación científica. El objetivo de este artículo es sintetizar con un lenguaje ni científico ni excesivamente técnico en qué consiste la grabación binaural, así como enumerar algunos de sus campos de aplicación.

Grabación binaural

Entre los cinco sentidos del hombre (y los seis de la mujer) uno de los más importantes es el de la audición. Gracias a él podemos hablar unos con otros, escuchar el último disco de nuestro grupo favorito o disfrutar del sonido del mar mientras estamos tumbados al sol. Algo tan sencillo e inconsciente para la mayoría de nosotros como oír es en realidad un proceso complejo en el que intervienen tanto factores físicos relacionados con la propagación de las ondas sonoras como factores psicoacústicos derivados de la forma en que nuestro cerebro procesa los estímulos recibidos en cada oído para crear la percepción sonora final [1]. Desde sus comienzos, la ingeniería acústica ha desarrollado instrumentos y sistemas para la grabación y reproducción del sonido de la forma más fiel y precisa posible [2].

Una de las características del sistema auditivo humano es su capacidad de localización espacial de las fuentes de ruido tanto en el plano horizontal como en el vertical. En el plano horizontal, esta localización se realiza gracias a los retardos y a las diferencias de nivel de la señal sonora en un oído respecto al otro. En el plano vertical, la localización espacial se realiza gracias al filtrado realizado por la cabeza, el torso y el pabellón auditivo. El cerebro humano es capaz de interpretar el efecto de estos filtros para inferir la dirección de localización de las fuentes. De esta forma, nuestra anatomía es un factor fundamental en la percepción del sonido [3].

Este último aspecto pasa desapercibido para métodos como la grabación estereofónica u otros sistemas de sonido envolvente, que no tienen en cuenta el efecto que nuestro cuerpo, especialmente los hombros, la cabeza y el pabellón auditivo produce en el campo sonoro. El hecho de que la

presión sonora grabada con un micrófono sin presencia del oyente es significativamente diferente a la que existe en el canal auditivo del oyente, hace necesaria la utilización de una cabeza, ya sea artificial o natural, para la grabación de los sonidos si queremos conseguir una reproducción tal y como si estuviéramos inmersos en el campo sonoro original que se produjo durante la grabación. Existen igualmente otros efectos característicos de nuestro sistema auditivo binaural como son la separación y selección de fuentes sonoras o la supresión de ruidos e interferencias. Esto quiere decir que con la grabación con un solo micrófono, o con dos micrófonos separados una distancia determinada, sin la presencia de la cabeza, hombros y pabellón auditivo, no es posible reproducir los efectos de filtrado en función de la dirección de incidencia. Sin la presencia de la cabeza binaural es imposible grabar la señal de presión sonora igual a la existente en el interior del canal auditivo, es decir, es imposible registrar el estímulo real de nuestro sistema nervioso.



Fig. 1. Cabeza binaural

Fuente: HEAD Acoustics GmbH

En la práctica se utilizan dos tipos de sistemas para la grabación binaural. El sistema con el que se consigue una mayor calidad es el compuesto por un sistema de torso y cabeza artificial, llamada cabeza binaural o cabeza acústica (fig. 1). Este maniquí tiene un comportamiento acústico equivalente al promedio de los seres humanos y cuenta con un micrófono en la posición de cada canal auditivo. Como método alternativo, se utilizan personas a las que se les adaptan micrófonos situados lo más cerca posible del canal auditivo, ya sea con auriculares o con adaptadores (fig. 2).



Fig. 2. Sistema de grabación binaural
Fuente: HEAD Acoustics GmbH

Las diferencias principales entre ambos sistemas son:

- Con la cabeza artificial se consigue la mayor calidad de reproducción ya que los micrófonos se encuentran en la posición en la que se produce el estímulo de nuestro sistema nervioso, el canal auditivo. En el caso de algunos auriculares, los micrófonos están situados en el exterior del oído por lo que no se obtiene exactamente la presión sonora en el punto de excitación del sistema nervioso.
 - La grabación con la cabeza artificial es independiente de las propiedades de ningún ser humano en particular y por tanto la grabación es completamente repetible. Por otra parte, existen hoy en día cabezas con una descripción geométrica matemática lo que hace al sistema completamente calibrable [4].
 - Hay ocasiones en las que no es posible utilizar una cabeza artificial. Tal es el caso típico de la grabación del sonido en la posición del conductor de un vehículo. En este caso se utiliza como cabeza binaural al conductor con micrófonos adaptados en la posición de los oídos.
- De igual forma, hay situaciones en las que se hace necesario o muy recomendable utilizar cabezas artificiales, por motivos de seguridad o por formar parte la grabación binaural de un proceso continuo durante largos periodos de tiempo. El caso típico es en líneas de control de calidad de producción.
 - En general, los sistemas que utilizan una persona tienen un menor coste y son más portátiles y discretos, por lo que se suelen utilizar en aquellas situaciones en las que la rapidez y el coste primen por encima de la calidad.

Reproducción binaural

Una vez registradas las señales con un sistema de grabación binaural, la reproducción se realiza generalmente con auriculares: al haber grabado las señales en el canal auditivo o cerca del mismo, lo más directo es reproducir estas señales de nuevo en el canal auditivo del oyente. Dado que la señal sonora atravesará dos veces el canal auditivo, una durante la grabación y otra durante la reproducción es necesario ecualizar para compensar este efecto. La ecualización también tiene en cuenta la respuesta en frecuencia de los auriculares. Normalmente con las cabezas artificiales, se utilizan auriculares electrostáticos para conseguir la máxima calidad en la reproducción. Los sistemas que utilizan auriculares para la grabación utilizan estos mismos auriculares para la reproducción, realizando automáticamente la ecualización y compensación de frecuencia del sistema.

También es posible la reproducción binaural con altavoces. Es espectacular el efecto producido con dos altavoces enfrente del oyente reproduciendo un sonido que percibimos completamente detrás de nosotros. La desventaja principal de este método es la necesidad de ubicar al oyente en una posición determinada y de compensar el efecto de la sala para esa posición. Este inconveniente hace que en general el método habitual de reproducción sea con auriculares. Aunque para obtener unos resultados de calidad es necesaria la utilización de sistemas de reproducción específicos, incluso con un reproductor MP3 y unos auriculares convencionales se obtienen resultados sorprendentes.

Un error muy común, cometido incluso por ingenieros de sonido, es pensar que los efectos conseguidos mediante la grabación binaural pueden alcanzarse grabando con micrófonos, sin cabeza binaural, y procesando las señales posteriormente. Esto es incorrecto ya que para cada punto del espacio existe una función de transferencia

específica entre la presión sonora en dicho punto y la presión sonora en el interior de cada uno de los dos canales auditivos y, por tanto, sin conocer previamente la distribución espacial de las fuentes sonoras y sus reflexiones es imposible reproducir la sensación auditiva original. No hay más remedio que usar, literalmente, la cabeza.

Ventajas de la tecnología de grabación binaural

La grabación binaural tiene muchas ventajas respecto a otras técnicas, derivadas todas ellas de la característica fundamental de ser el único método capaz de reproducir la sensación sonora tal y como si nos encontráramos inmersos en el campo sonoro en el que se realizó la grabación. Entre estas ventajas se encuentran las siguientes:

- Comparación de sonidos. El sistema auditivo humano se caracteriza por su altísima sensibilidad y por su escasa memoria. Esto quiere decir que aunque somos capaces de percibir mínimas variaciones de sonido, no poseemos memoria para registrar la percepción sonora una vez pasado el evento sonoro y por tanto es difícil realizar comparaciones de sonidos. Un ejemplo clásico de esto es intentar comparar los sonidos producidos por el vuelo de una serie de aviones. Al tener necesariamente que esperar un tiempo entre cada paso de avión, nos es muy difícil compararlos. Gracias a la tecnología binaural se pueden realizar grabaciones y compararlas después una inmediatamente detrás de la otra. Esto se conoce como comparaciones A/B y es una de las aplicaciones típicas de la tecnología binaural.
- Evaluación por jurado ('Jury Testing'). En la percepción de un sonido hay siempre factores subjetivos. Varias personas que evalúen un mismo sonido en un mismo lugar, lo harán de forma diferente porque la audición, como todos los sentidos humanos, tienen una componente subjetiva. Por ello es habitual someter la evaluación de los sonidos a un conjunto de personas que actúan como jurado. Esto es complicado y costoso de hacer sin un sistema de grabación y reproducción binaural. Por ejemplo, para evaluar veinte personas el sonido en la posición del conductor de un vehículo en un determinado trazado, tendríamos que repetirlo veinte veces y, aún así, el sonido evaluado no sería exactamente el mismo, ya que existirían diferencias en la velocidad, aceleración, trazado, etc. Utilizando una misma grabación binaural para todos, el proceso de evaluación por jurado se simplifica.

- Posibilidad de comparar el análisis subjetivo del sonido con las fuentes que lo producen como vibraciones. Por ejemplo, combinando la reproducción binaural con el análisis espectral simultáneo de una señal de vibración se puede estudiar qué componentes de frecuencia del sonido son molestas y conviene reducir o por el contrario, agradables, que conviene potenciar y relacionarlas con la vibración que las produce.
- Filtrado y reproducción binaural. Una vez disponemos de una grabación binaural, es posible mediante software aplicar filtros en función de la frecuencia y reproducir binauralmente el sonido, de manera que podemos predecir la percepción sonora si atenuáramos una u otra fuente o aislar una determinada componente del sonido de las demás para analizarla de forma individual.

Optimización acústica de productos industriales

Éste es sin duda el campo en el que la grabación binaural ha tenido un mayor éxito. La vertiginosa carrera por diferenciar los productos de la competencia afecta por supuesto a su optimización acústica. Sin duda, el sector que ha liderado en las últimas décadas el desarrollo de toda una serie de técnicas y herramientas en ingeniería vibroacústica, que luego se han aplicado a otras industrias, es la del automóvil. Todos sabemos que no suena igual un coche de gama 'premium' que uno de gama inferior. Esto es el resultado de la aplicación de herramientas de cálculo y ensayo desde el diseño conceptual del vehículo hasta el control de calidad de la producción final. En este ámbito, la grabación binaural es una herramienta fundamental muy utilizada por los centros técnicos de los fabricantes, por la industria auxiliar, así como por las ingenierías y centros tecnológicos de apoyo a la industria. Los usos abarcan las diferentes fases del diseño del producto: desde el diseño del sonido objetivo (¿cómo queremos que se perciba el sonido de un determinado vehículo?), a la optimización de los prototipos, normalmente en combinación con la medida de vibraciones, así como a la evaluación del producto final. La grabación binaural es por tanto una técnica necesaria para la evaluación, desde el punto de vista de la percepción subjetiva del sonido, del resultado de las modificaciones del producto tanto estructurales, aerodinámicas, por elementos absorbentes, etc.

También se utiliza ampliamente la grabación binaural en la atención de quejas por ruido de estos productos una vez llegan al cliente final para registrar y evaluar el sonido y comparar con

grabaciones de referencia y poder diagnosticar así la causa y tomar decisiones de cara al cliente.

Los sectores industriales que más utilizan las herramientas para grabación binaural son aquellos en los que la percepción subjetiva del sonido es más importante: automoción, ferrocarril, línea blanca, ascensores, etc.

Psicoacústica

La psicoacústica es la rama de la ciencia que estudia el sistema auditivo humano teniendo en cuenta los factores físicos y psicológicos que intervienen en el proceso complejo de audición. Uno de los campos de estudio de la psicoacústica es la obtención de índices o métricas que, a partir de magnitudes físicas objetivas como la presión sonora, representen sensaciones acústicas concretas. Entre ellas, utilizando la terminología inglesa habitual: 'loudness', 'roughness', 'sharpness', 'articulation index', etc. Incluso se han llegado a definir índices que tratan de representar la molestia total producida para fuentes sonoras concretas [1] [2].

Para todos los experimentos que lleva a cabo la psicoacústica, la grabación binaural supone una ayuda significativa ya que permite reproducir en el laboratorio experimentos con sonidos que de otra forma harían muy costosa o imposible su evaluación por un panel de oyentes.

Grabación binaural y ruido ambiental

Desde las últimas décadas existe una creciente preocupación por la contaminación acústica. La Organización Mundial de la Salud ha puesto de manifiesto la gravedad de los efectos producidos por el ruido ambiental tanto desde el punto de vista de la molestia como del daño a la salud [5]. En consecuencia, los métodos e índices de evaluación del ruido ambiental siguen siendo objeto prioritario de estudio por parte de la ingeniería acústica.

Para entender el papel que puede desempeñar la grabación binaural en la evaluación del ruido ambiental es necesario definir con precisión algunos conceptos propios de la terminología habitual del ruido ambiental.

La exposición a la contaminación acústica se define a partir de índices obtenidos directamente del nivel de presión sonora. La exposición, al obtenerse directamente de magnitudes físicas, es algo objetivo, no depende del oyente. Dado que la principal aplicación de los métodos de evaluación del ruido ambiental están relacionados con la gestión ambiental, mediante licencias de apertura y

procedimientos sancionadores de actividades ruidosas, es necesario contar con índices objetivos y sencillos de medir. En este sentido la legislación [6] regula los métodos e índices de medida a utilizar, conforme a las normas internacionales [7]. Así, se definen los índices de evaluación de la exposición derivados del nivel de presión sonora como el L_{Aeq} (dBA), L_{den} , L_d , L_e , L_n . Estos índices se miden mediante instrumentos sencillos como son los sonómetros.

Por otra parte, en este ámbito se denomina ruido al sonido ambiental que se percibe como molestia. Al ser la molestia una respuesta subjetiva, es algo mucho más difícil de evaluar, no siendo los índices de evaluación de la exposición, como los derivados del L_{Aeq} (dBA), indicadores válidos de la molestia producida. La relación entre la exposición y la molestia es compleja de evaluar por el carácter subjetivo de la molestia.

En estas condiciones, ¿qué papel juega una tecnología como la grabación binaural en la evaluación de la contaminación acústica?

En primer lugar, en el campo de la investigación, se siguen buscando índices con un mayor grado de relación con la molestia producida. Tal es el caso del proyecto CITIHUSH [8]. La grabación binaural permite la comparación 'en laboratorio' de los sonidos y la sensación parecida por un jurado de oyentes y compararla así con las métricas psicoacústicas.

Por otra parte, del mismo modo que la legislación regula la gestión medioambiental, también obliga a que los resultados de la evaluación ambiental recogida en los mapas estratégicos de ruido se utilice para la planificación medioambiental mediante la elaboración de los planes de acción. Estos planes recogen actuaciones concretas que deben ir orientadas a la disminución de la molestia producida. En situaciones de ruido ambiental complejas, como son la mayoría de las urbanas, con diferentes fuentes de ruido simultáneas, cada vez cobra mayor importancia el concepto de paisaje sonoro ('soundscape'). Esta aproximación incide en que se tengan en cuenta los efectos psicoacústicos a la hora de la evaluación de la molestia [9]. De esta forma, la planificación de las actuaciones en escenarios urbanos complejos deberían ir dirigidas no sólo a la reducción de los niveles de exposición sino a la creación de un espacio lo menos molesto posible. A este respecto, la grabación binaural es una técnica muy útil para poder grabar, reproducir y comparar las percepciones sonoras producidas en diferentes escenarios, así como eliminar o reducir la contribución a la percepción sonora de diferentes fuentes mediante filtrado y reproducción binaural

para conocer a priori el efecto que tendría una u otra actuación.

Música, cine, TV, radio, videojuegos.

Uno de los primeros usos de las cabezas binaurales fue la realización de grabaciones musicales. La extremada calidad de las reproducciones, muy superiores a las grabaciones estereofónicas y más sencillas en su concepto, ya que requieren menos procesamiento de la señal, hicieron pensar en la grabación binaural como una técnica que tendría éxito en la industria musical. No obstante, salvo algunas grabaciones comercializadas hace décadas con técnicas binaurales, esta técnica no ha tenido éxito como difusión masiva. El primer motivo es que la grabación binaural tiene su principal ventaja en aquellas situaciones en las que la localización espacial sea importante. Éste no es el caso de la música de estudio. Sí lo sería por ejemplo en la música sinfónica, donde la disposición de los instrumentos es muy importante para la percepción final. En cualquier caso, el motivo fundamental es otro: la reproducción binaural se realiza generalmente mediante auriculares ya que el uso con altavoces requiere una posición fija y precisa del oyente. Aunque con unos auriculares convencionales se obtienen unos resultados aceptables, la reproducción binaural de calidad requiere unos auriculares especiales de los que se conozca su respuesta en frecuencia y compensarla mediante ecualización.

Sin embargo, la aparición del cine y la televisión en 3D hace muy interesante la grabación binaural para obtener un sonido en 3D real, especialmente en aquellas situaciones en las que se pretende situar al oyente dentro de un campo sonoro con diferentes fuentes localizadas espacialmente. El ejemplo típico sería el de situar al oyente en medio de una batalla con disparos y gritos a su alrededor. Los resultados que se consiguen con la grabación binaural en este tipo de situaciones son de una calidad espectacular comparadas con las técnicas de sonido envolvente utilizadas en la actualidad. Bien es cierto que habría que adoptar métodos para poder utilizar la cabeza o los auriculares binaurales en el proceso de grabación simultáneamente a la grabación de vídeo.

Una aplicación reciente de la grabación binaural es en la utilización de videojuegos. Ya se están utilizando en dispositivos móviles de gran consumo. Aquí las ventajas son claras: no es ningún problema normalmente la reproducción con auriculares, la grabación puede realizarse con una cabeza y luego superponerla al vídeo e incluso mezclarla con sonidos sintetizados. El realismo está asegurado.

Otras aplicaciones

Entre otras aplicaciones adicionales de la grabación binaural se pueden destacar:

- **Telefonometría.** Con cabezas binaurales específicas dotadas de boca artificial, se realizan medidas para el diseño y control de calidad de teléfonos y sus accesorios inalámbricos.
- **Acústica arquitectónica.** También se utiliza la grabación binaural, principalmente en proyectos de investigación, en aquellas aplicaciones avanzadas en las que las medidas normalizadas como el tiempo de reverberación, aislamiento y ruido de fondo no son suficientes y se busca optimizar la percepción sonora de una sala.
- **Simuladores.** En simuladores de vuelo, de vehículo, de ascensores, etc. se utiliza la tecnología binaural para la reproducción de la percepción sonora de la manera más fiel posible. En este caso, se suele combinar con la reproducción de vibraciones lo que mejora considerablemente la calidad de la simulación.

Referencias

- [1] Zwicker E., Fastl, H. "Psychoacoustics. Facts and Models", Springer-Verlag, Berlín, 1999.
- [2] Liaño J. "Métodos avanzados de Evaluación y Análisis en Ingeniería Acústica", ETSI Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, 2001.
- [3] Head Acoustics, GmbH, "Binaural Measurement, Analysis and Playback", HEAD Application Note.
- [4] Genuit K. "Artificial Head with Simplified Mathematical Describable Geometry".
- [5] Organización Mundial de la Salud (OMS), "Guidelines for Community Noise", 1999.
- [6] Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo, de 25 de junio, sobre Evaluación y Gestión del ruido ambiental.
- [7] ISO 1996-2:2009, "Caracterización y medición del ruido ambiental", 2009.
- [8] Salomons E., Janssen A., "CITYHUSH. Acoustically Green Road Vehicles and City Areas. 2.2. Refined noise score rating model for residents", 2011.
- [9] Genuit K., Fiebig A. "Psychoacoustics and its Benefit for the Soundscape Approach", Acta Acustica united with Acustica, vol. 92, 2006.