POR
DAVID HERNÁNDEZ ABAJO
dhayecm@hotmail.com

UN SUEÑO FRUSTRADO

La colocación de los altavoces en la sala es el pilar fundamental para alcanzar una respuesta acústica óptima

> *Tener presente el fenómeno SBIR, convierte un sistema de audio común en una experiencia de escucha verdaderamente tridimensional*

¿Un sueño frustrado?

Nacho regresa en su coche cargado con los altavoces soñados. En el portal, Patricia sale a su encuentro para ayudarlo a subir el cargamento por un ascensor convertido en el escenario de una coreografía claustrofóbica. Las cajas son enormes y apenas dejan respirar, pero no importa, porque el espejo del habitáculo les devuelve el brillo de sus sonrisas.

En casa, el sudor les recorre por todo el cuerpo tras apartar los muebles a empujones para abrir hueco. Ya descansa la primera caja, pero los dedos flaquean y la segunda se desploma arrancándoles un lastimero bramido. El impacto suena seco, como el golpe sordo de sus corazones acelerados, mientas que se consuelan mutuamente con una sonrisa muda.

Repuestos del amargo momento, Nacho empuña el cúter con la inseguridad del cirujano primerizo. Descubre el filo y su cric-cric-cric rompe el silencio clavándolo en el precinto. El corte es preciso siguiendo la doctrina del manual del usuario como si fuera un mapa del tesoro. Cumplido el primer paso, voltean los bloques, liberan los altavoces de su confinamiento y los despojan de su sudario.

—Bien. Aquí están... Qué hermosura —susurra él.
—¿Dónde los colocamos? —responde ella, maravillada.
—A cada lado del trono del salón —sentencia Nacho.

Las imponentes torres de madera y metal ya ocupan su lugar. Los cables de cobre desnudo han sido conectados, unidos con firmeza los bornes dorados y luego de orientarlos milimétricamente hacia el sofá —esa isla situada en el punto dulce—, todo queda dispuesto.

La ceremonia reclama una Salve Regina a la altura del instante, y Patricia inicia el rito: elegir el disco entre docenas de candidatos que reposan en silencio en los palcos de la gran librería, guardianes de un torrente de vidas, dramas y afectos de la condición humana. Mientras tanto, Nacho despierta las etapas de potencia. Una tenue luz ámbar baña el giradiscos donde el vinilo elegido inicia su marcha infinita desafiando el tiempo, a la espera de recibir la aguja que le concederá la palabra. Un microsegundo de estática y un leve pop inicial dictan un aviso: silencio absoluto. La sala entera contiene el aliento. La música reclama su reino.

—Oh, qué bien suena —dice Patricia desde la isla.

La comisura de los labios de Nacho revela su desencanto. Clava la mirada en el vacío buscando la salida a través del espejismo que le oculta el fruto deseado. Falta aire, se dice; algo no va bien, masculla elevando el tono. ¿Acaso las esperanzas que lo impulsaron se han desvanecido por una ambición desmedida?

No, no son las falsas expectativas la causa de su desazón. Es la acústica de la sala; una pared de cristal donde los deseos y esperanzas pueden acabar por hacerse añicos.

Es el fenómeno SBIR

El fenómeno SBIR[1] (por sus siglas en inglés, Speaker Boundary Interference Response), en español *Respuesta del altavoz ante la interferencia de los límites*, es la interferencia acústica de baja frecuencia que se produce cuando el sonido directo de un altavoz se mezcla desfasado con sus propias reflexiones tempranas, o los primeros rebotes sonoros que llegan al oyente tras el sonido directo en los primeros 50 milisegundos.

Como el sonido directo y la onda reflejada recorren distancias distintas, al restarse o sumarse resultan en la modificación de la onda original con picos y valles profundos en la respuesta de frecuencias, principalmente por debajo de los 500 Hz. Los valles profundos cancelan las frecuencias graves y si la diferencia de la trayectoria equivale a media longitud de onda $\lambda/2$ (o a un cuarto $\lambda/4$, s egún la referencia de contorno), las ondas llegan

[1] También llamado Efecto Allison, en honor a Roy F. Allison, ingeniero acústico y diseñador de altavoces estadounidense que a principios de los años 70 del siglo pasado, descubrió que los altavoces perfectos no existían una vez se instalaban en las salas domésticas. El argumento vertebró su estudio publicado en 1974 y que revolucionó el audio titulado: «The influence of Room Boundaries on Loudspeaker Power Output».

en oposición de fase a 180° respecto de la onda original y se provoca una anulación o caída drástica de volumen en los graves. Por otra parte, a diferencia de los modos propios de la sala (room modes) u ondas estacionarias, aquellas resonancias acústicas naturales que ocurren dentro de cualquier espacio cerrado cuando se reproduce un sonido, cambian según la posición del oyente. El SBIR es fijo respecto a la ubicación exacta del altavoz y su distancia al límite físico.

Para realizar una simulación, la empresa SAMESOUND Acoustics brinda una calculadora SBIR donde el aficionado puede realizar una simulación con la herramienta que proporciona sugiriendo correcciones en la ubicación de los altavoces. Este es el enlace: https://acoustic.samesound.ru/en/analysis/sbir

Sugerencias para solucionar el efecto SBIR

Para evitar o disminuir las interferencias acústicas en baja frecuencia se pueden tomar dos caminos o una combinación de ambos: ajustar la posición de los altavoces o aplicar un tratamiento acústico especializado en la sala. La primera actuación pide alejar drásticamente los altavoces del muro frontal más de 1 metro o pegarlo a este a menos de 30 cm. Con esto se consigue desplazar la frecuencia de cancelación hacia un rango de frecuencias más manejable de tratar. Otra opción es el tratamiento acústico instalando paneles absorbentes de gran espesor, trampas de graves o paneles porosos robustos en las paredes que resten a las ondas reflejadas para evitar o minimizar las interferencias acústicas de baja frecuencia. También existe la posibilidad de ecualizar la sala por medio de programas informáticos de medición acústica como Room EQ Wizard (REW), (cuyo enlace se encuentra aquí: https://www.roomeqwizard.com/) o herramientas de corrección digital para identificar las frecuencias exactas afectadas.

No todos los tipos de sonido tienen el mismo límite de tiempo

Efectivamente, el *umbral de eco* (o el límite de tiempo en el que la fusión se rompe) no es fijo; cambia debido a cómo el cerebro procesa la información acústica según la complejidad del estímulo. En los sonidos transitorios (como clics, o chasquidos), cuyo retraso entre el sonido principal y el rezagado va de 1 a 5 milisegundos, siendo estos impulsos extraordinariamente cortos, —y esto es lo más importante— sin ser un sonido continuo, el cerebro se satura rápidamente y cualquier réplica que demore más de esos 5 ms ya se percibe como un eco. Sin embargo, si los sonidos son por el habla humana, la demora entre el sonido principal y el secundario puede alcanzar de 30 a 50 ms, manteniendo el cerebro la fusión de ambos sonidos en uno solo. Una sílaba dura mucho más que un clic y como los sonidos del habla se solapan en el tiempo, el sistema auditivo amplía la ventana de tolerancia, manteniendo el cerebro la fusión de ambos sonidos hasta llegar a los 50 milisegundos, lo que asegura la comprensión del mensaje. Y en lo referente a la música, en general la más compleja con grandes grupos de instrumentos, en este caso al tener los sonidos musicales ondas continuas, cambios de amplitud más suaves y reverberaciones naturales, ante ella el cerebro es elástico en extremo y fusiona el sonido original con sus reflexiones incluso si estas llegan casi a los 100 milisegundos de retraso respecto del sonido original.

La importancia de la gestión sensorial de las reflexiones tempranas

Aunque las reflexiones tempranas tienen una virtud innegable al aportar información sobre el tamaño de la habitación y la ubicación de la fuente, es sabido que, en exceso, emborronan y apelmazan la imagen estéreo y alteran la respuesta en frecuencia incrementando ciertas frecuencias hasta +6 dB o las anula a niveles cercanos debido a cancelaciones de fase.

El oído une los rebotes de las ondas que le llegan antes de los 50 milisegundos (aunque con música compleja pueden alcanzar los 100 milisegundos) junto con la señal original. Este es un mecanismo neurobiológico mediante el cual el sistema nervioso central recibe, descodifica y unifica los impulsos eléctricos generados por el sonido para construir una experiencia de la realidad con significado lingüístico, espacial y emocional que facilita la localización rápida de la fuente de sonido, aislar la voz humana en entornos ruidosos e incluso activar respuestas motoras rápidas de huida o defensa ante las amenazas percibidas por su sonido.

Esta capacidad proporciona al ser humano discernir o descodificar la entonación, el ritmo y el tono emocional del interlocutor para descifrar el sarcasmo, la urgencia, el peligro o la empatía. En suma, la coherencia descriptiva de fuentes sonoras reconocibles ante las cuales podemos interactuar con un conjunto de emociones que nos describen en la complejidad y la diversidad emocional como seres humanos.

La ciencia describe este mecanismo biológico de procesamiento acústico por el nombre de Integración cerebral, un proceso dinámico que no actúa en una sola región del cerebro, sino que activa una red de conexiones complejas conectadas en múltiples áreas corticales y subcorticales del cerebro. Este funcionamiento complejo es el resultado de la evolución, la adaptación y la gestión eficiente frente a entornos amigables o peligrosos, estimulando nuestros centros del placer tanto como las alertas, que mejoran la orientación espacial y contribuyen decisivamente a la supervivencia y a la interacción adaptativa con el entorno.

En suma, la integración cerebral une las interferencias acústicas percibidas de menos de 50 milisegundos con la onda sonora original, mejorando la claridad de los sonidos percibidos, dando la idea de

la dimensión del escenario acústico y su naturaleza, sin que por ello se pierda nitidez. Este efecto de precedencia, o efecto *Haas* es un pilar fundamental de la integración cerebral acústica. Cuando el cerebro fusiona esas reflexiones e interferencias de menos de 50 milisegundos con el sonido original, no percibe dos ecos distintos, sino un único sonido expandido, con cuerpo y profundidad, dimensiones que están íntimamente conectadas con el placer de la escucha musical.

El placer obtenido con la experiencia acústica proviene de tres vías biológicas y psicológicas diferenciadas: la primera, por la generación de espacialidad, cultura heredada que ha constituido la base epigenética o adaptativa desde las culturas primitivas hasta nuestros días, que identificaron el sonido reflejado en cuevas y bosques como algo próximo y natural. Esa tridimensionalidad espacial vivida a través de las interacciones con la naturaleza se materializó en expresiones culturales ancestrales acordes con la experiencia cuya memoria heredada se ha transmitido en miles de generaciones. Hoy, gracias a la tecnología, esta herencia se ha materializado en sistemas que buscan alcanzar la misma inmersión y placer en el oyente contemporáneo a través de la música.

En segundo lugar, el ahorro en el esfuerzo cognitivo que proporciona una experiencia de escucha más prolongada y placentera. Mediante la fusión de las interferencias tempranas con el sonido original se alcanza una ganancia o amplitud sonora virtual percibida como un sonido más potente y claro. Y todo esto sin necesidad de elevar el volumen físico de la onda y sin realizar esfuerzo físico alguno de reconstrucción o descodificación.

Por último y en tercer lugar, al recibir nuestro cerebro patrones espaciales y temporales proporcionados por la música, se activan los mecanismos de recompensa gracias al conjunto de ricos matices sonoros que el cerebro procesa enviando señales al núcleo accumbens (la central del placer), liberando dopamina al experimentar texturas sonoras que se perciben como "vivas", "cálidas" y "reales".

Este comportamiento de nuestro cerebro es conocido por los ingenieros de sonido y arquitectos de sala de conciertos. Es por ello que utilizan el límite de los 50 ms añadiendo reverberaciones o retrasos cortos para transformar el sonido en la experiencia tridimensional que nuestro sistema nervioso interpreta como gratificante. Un ejemplo que sirve para comprender cómo se "cocina" la música es que los instrumentos grabados por separado suelen sonar planos, secos y sin sustancia, porque carecen del entorno físico. Los productores lo saben y para dotarlos de una textura orgánica emplean las micro reflexiones mediante estas técnicas:

· **El efecto Haas**: consiste en duplicar la pista de un instrumento, situarlo en uno de los dos canales estéreo de la grabación y retrasar la copia entre 10 y 35 milisegundos en el canal opuesto. Con ello una guitarra insípida se transforma en un enorme y tridimensional instrumento que acapara todo el escenario estéreo.

· **El uso de reflexiones tempranas**: se trata de aplicar una reverberación digital para la voz principal eliminando las reflexiones con retraso inferior a los 40 milisegundos para dotarla de cuerpo y cercanía sin que se emborrone la letra ni se pierda la nitidez.

· **Pegamento sonoro**: es la aplicación de retrasos casi imperceptibles en los instrumentos para recrear la ilusión de que toda una banda ha tocado al unísono en el mismo lugar, lo que es básicamente incierto.

Las reflexiones tardías son muy importantes

Aquellas que llegan después al oyente y que se funden en la reverberación difusa de la sala al rebotar contra paredes, suelo y techos cercanos. Provienen de los rebotes de las ondas acústicas originales percibidas con más de 50 milisegundos de retraso que causan la sensación de amplitud o "calidez" de un espacio grande —como una iglesia o un auditorio—, pero que en exceso restan inteligibilidad a la palabra hablada y claridad a la música.

Cuando la fusión sigue activa, el cerebro calcula una sola ubicación espacial (la del primer sonido), pero superado este umbral, el efecto de eco del sonido se rompe y el cerebro "reinicia" sus mecanismos de localización binaural. A partir de ese milisegundo exacto, calcula de forma independiente la dirección del sonido principal y la dirección del sonido retardado, pudiendo el oyente señalar con precisión dónde está la fuente original y la pared donde rebotaron los ecos molestos que afectan la comprensión y disfrute del sonido, causantes de la conocida *fatiga auditiva* y del *emborronamiento del sonido*.

En consecuencia, la colocación de los altavoces en una sala es el pilar fundamental para alcanzar una respuesta acústica óptima. La distancia del altavoz respecto a paredes, techo y suelo determina el retraso en milisegundos del sonido reflejado. Por lo tanto, una correcta separación evitará que los rebotes interactúen de forma destructiva con el sonido directo y garantizará que el cerebro fusione ambas señales correctamente sin perder la localización espacial de los instrumentos. Por otro lado, como el tamaño del salón define el comportamiento de las ondas graves, los llamados *modos propios de la sala*, la posición de los altavoces dictará si las frecuencias bajas se refuerzan de manera limpia o si, por el contrario, generarán cancelaciones molestas.

Por último, cabe subrayar el necesario aislamiento de los altavoces de la superficie de apoyo mediante puntas de desacoplo o bases absorbentes que impidan que las vibraciones físicas del recinto se transfieran al suelo, eliminándose resonancias estructurales que suelen enmascarar los detalles y emborronar el sonido.

En definitiva, para alcanzar una experiencia sonora verdaderamente tridimensional sin que las reflexiones tempranas y tardías supongan su des-

trucción, es imprescindible que las sinergias entre los distintos actores implicados, altavoces, distancia respecto de paredes, techo y suelo, los modos propios de la sala y un aislamiento mecánico efectivo interactuen positivamente, lo que convierte un sistema de audio común en una experiencia de escucha verdaderamente tridimensional.

Lecturas consultadas

• **Principios de neurociencia** (4.ª ed.). Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (Eds.). (2001). McGraw-Hill Interamericana. *Considerado el tratado estándar de neurociencia, de donde se extrae la jerarquía de las vías auditivas desde los núcleos cocleares hasta el lóbulo temporal.*

• **The Handbook of Multisensory Processes**: Calvert, Gemma A., Charles Spence y Barry E. Stein, editores. The Handbook of Multisensory Processes. MIT Press, 2004. *Base científica utilizada para explicar la integración multisensorial y la recalibración temporal entre el estímulo visual y el auditivo.*

• **Tu cerebro y la música: El estudio científico de una obsesión humana.** Levitin, D. J. (2008). (J. Soler Costa, Trad.). RBA Libros. *Estudio clave sobre cómo las texturas del sonido tridimensional activan el sistema de recompensa cerebral y liberan dopamina en el núcleo accumbens.*

• **Master Handbook of Acoustics. 7.ª ed.** Pohlmann, Ken C. y F. Alton Everest. McGraw-Hill Education, 2022. *La fuente técnica principal para desglosar la estructura física de los modos de sala (axiales, tangenciales, oblicuos), así como los cálculos de presión en nodos y antinodos.*

• **The precedence effect**. Litovsky, R. Y., Colburn, H. S., Yost, W. A., y Guzman, S. J. (1999). The Journal of the Acoustical Society of America, 106(4), 1633-1654. doi.org. *Estudio científico donde se analiza el Efecto Haas y el umbral de los 50 milisegundos en la percepción psicofísica humana.*

• **Architectural Acoustics. 2.ª ed.**, Long, Marshall. Academic Press / Elsevier, 2014. *Tratado de diseño de recintos que detalla la geometría en "caja de zapatos" y el fenómeno del envolvimiento acústico (Listener Envelopment) en salas de conciertos clásicas.*

AVISO: La información proporcionada en este artículo es solo para fines informativos generales. Aunque el autor se ha esforzado por mantener la información actualizada y correcta, no garantizamos la integridad, exactitud o fiabilidad de la misma. Cualquier confianza que deposite en dicha información es estrictamente bajo su propio riesgo. Todos los logos, marcas registradas y materiales de terceros mostrados en este sitio pertenecen a sus respectivos propietarios y se utilizan solo con fines ilustrativos.