

De la Localización del Sonido al iMusic

Una Aproximación a los Pulsos Binaurales y a los Efectos de la Modificación de la Actividad Eléctrica Cerebral

Introducción	(1)
Localización del Sonido	(1)
Pulsos Binaurales	(3)
Actividad Eléctrica Cerebral	(4)
Biofeedback	(5)
Pulsos Binaurales y el Efecto de Sincronización de Frecuencias	(6)
Conclusiones	(7)

Introducción

La propaganda de Hemi-Sync o de iMusic asegura que basta con escuchar sus grabaciones para potenciar ciertas funciones cerebrales; desde mejorar la memoria, ayudar a regular el sueño o permitir estados de relajación profunda, hasta estimular la aparición de "estados mentales" óptimos para el desarrollo de un pensamiento creativo.

Los efectos prometidos no se basan en programas de aprendizaje estructurado. Las grabaciones que venden son básicamente productos musicales normales en los que se camuflan unos sonidos capaces de generar lo que se ha venido en llamar Pulsos Binaurales, los cuales, se afirma, tienen el potencial de modificar la actividad eléctrica cerebral y con ello la capacidad funcional del tejido nervioso.

El presente artículo supone una revisión analítica -y personal- en la que se exploran las bases de la localización del sonido, los propios pulsos binaurales, los patrones de actividad eléctrica cerebral o el biofeedback electroencefalográfico con la intención de proporcionar un conocimiento básico pero suficiente con el que contrastar la información, en muchos casos parcial y confusa, que existe en torno al "entrenamiento mental pasivo" que

ofertan las grabaciones basadas en pulsos binaurales.

Localización del Sonido

En condiciones naturales cualquier sonido alcanza a estimular ambos oídos de manera independiente. En un primer análisis el cerebro procesa ya la información auditiva conjuntamente, con datos procedentes de ambos oídos. Este procesamiento binaural permite al cerebro identificar "objetos auditivos singulares" al interpretar la información proveniente de los oídos izquierdo y derecho no como dos sonidos diferentes sino como un único elemento perceptivo.

Dependiendo de su localización un sonido podrá estimular con intensidad variable uno y otro oídos. Imagina por ejemplo que alguien grita cerca de tu oreja izquierda; el sonido llegará al oído derecho atenuado y algo retrasado con respecto al percibido por el oído izquierdo. Ciertos grupos neuronales, en ambos hemisferios cerebrales, se encargan de evaluar y compensar tales diferencias para formar una única percepción combinada. Además estas diferencias son utilizadas por el cerebro para calcular la localización de un evento sonoro en el espacio.

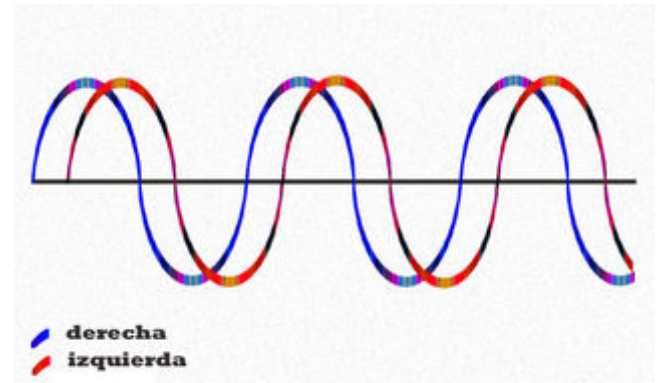


Fig. 1

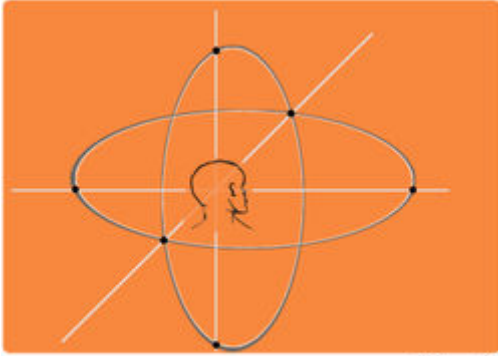


Fig. 2

La localización del sonido depende de diferencias interaurales (izquierda-derecha) de intensidad (volumen) y de diferencias de tiempo y fase (Fig. 1) de las ondas sonoras que alcanzan ambos oídos. Además participa también significativamente la Función de Transferencia Relacionada con la Cabeza (HRTF), que expresa las características físicas del cráneo y de los pabellones y conductos auditivos y la manera en que estos elementos interfieren con los sonidos según su localización (ver efectos relacionados en [Zuccarelli y la Barbería Virtual](#)). Para simplificar, puedes imaginar que la HRTF proporciona información sobre la distancia y localización del sonido en un plano sagital mientras que las diferencias de intensidad, tiempo y fase ofrecen un valor de desviación angular en un plano horizontal (Fig. 2). Así, conjuntamente, el cerebro obtiene información precisa sobre la localización de cualquier sonido en un espacio tridimensional.

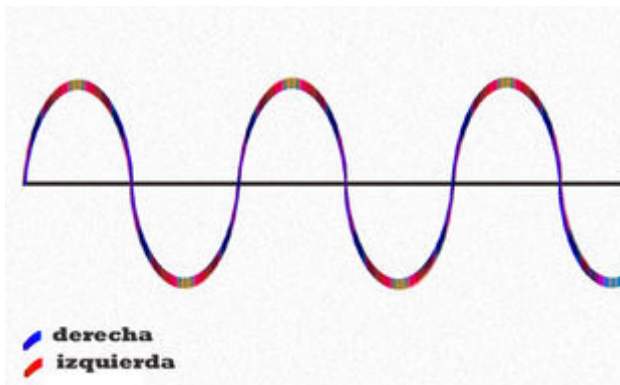


Fig. 3

Pongamos que un par de sonidos similares como los expresados en la Fig. 3 estimulan

los oídos izquierdo y derecho de un sujeto, respectivamente. Convengamos así mismo que la HRTF localiza el origen del sonido a dos metros al frente. En tanto no existen diferencias de intensidad o fase no aparecerá desviación angular (horizontal) alguna con lo que el sonido será percibido como proveniente de algún lugar justo en frente del sujeto.



Fig. 4

Imaginemos ahora otro caso, en el que la HRTF informa que la distancia tanto al oído izquierdo como al derecho es prácticamente nula; en este caso el origen del sonido sería calculado (y percibido) como proveniente de algún lugar situado dentro del cráneo (Fig. 4). Esto es precisamente lo que ocurre cuando se escucha música (no estereofónica) a través de cascos; los sonidos son percibidos como si proviniesen de "dentro" de la cabeza.

Cuando se utilizan cascos una pequeña diferencia de fase entre el sonido que estimula el oído izquierdo y el derecho (como en la Fig. 1) desplazará la localización del sonido acercándolo ligeramente hacia el lado de la onda sonora que sea percibida o interpretada como más temprana (Fig. 5. La onda azul -oído derecho- es interpretada como si alcanzase el oído un poco antes que la onda roja -oído izquierdo).



Fig. 5

Pulsos Binaurales

El tono de un sonido viene determinado por su longitud de onda (Fig. 6). Así sonidos graves tienen ondas más largas que sonidos más agudos. Se llama Pulso Binaural al efecto perceptivo que tiene lugar cuando se escuchan dos sonidos a izquierda y derecha que tienen tonos discretamente diferentes.

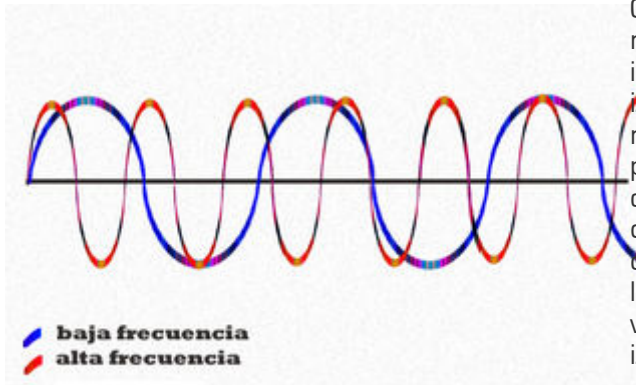


Fig. 6

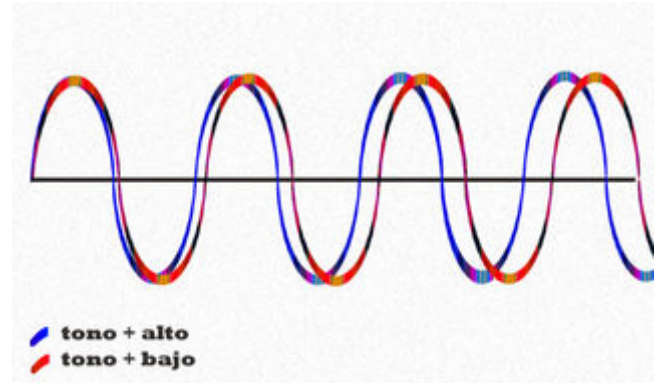


Fig. 7

Una pequeña diferencia en la longitud de onda (izquierda y derecha) produce un desplazamiento mínimo pero progresivo entre ambas ondas como puede observarse en la Fig. 7. Como ya se vio al comentar la Fig. 5 una diferencia de fase de los sonidos percibidos a izquierda y derecha desplazará la localización de la fuente del sonido hacia uno de los dos lados. Así un desplazamiento progresivo será percibido como si la fuente del sonido se estuviese moviendo "dentro" del cráneo (Fig. 8).

Cuando la diferencia de tono es mínima la repetición de ciclos de congruencia / incongruencia de las ondas sonoras izquierda y derecha ocurre de hecho tan rápidamente que el movimiento descrito es percibido como una vibración; como si el origen del sonido estuviese *vibrando* dentro del cráneo. Y efectivamente esta vibración constituye ella misma una onda cuya longitud (de onda) se corresponde con el valor de la diferencia de longitudes de onda izquierda-derecha.



Fig. 8

Para que el pulso binaural tenga lugar (es decir, para que se perciba una fuente sonora vibrando dentro del cráneo) la diferencia de longitudes de onda de los sonidos emitidos a la izquierda y a la derecha debe ser menor de 30 Hz. Cuando la diferencia es mayor de 30 Hz no se percibe un único sonido vibrando -cuyo tono sería el valor medio de ambos sonidos [izquierda-derecha]- sino que se escuchan dos sonidos de tono diferente, uno a la izquierda y otro a la derecha.

Generalmente se describen los pulsos binaurales como "alucinaciones" perceptivas debido a que el cerebro genera una onda de movimiento de la fuente de sonido que efectivamente no existe. Sin embargo en este sentido todo procesamiento perceptivo es una alucinación en tanto que se generan "objetos únicos" a partir de la información confluyente proveniente de distintos sistemas. Habitualmente el cerebro aprende a interpretar informaciones dispares como elementos singulares que es posible identificar [categorizar] y manipular. Más habituados a los efectos visuales que a los auditivos es común por

ejemplo identificar como más grande una montaña en el fondo de un lienzo que un árbol en primer plano aunque sus tamaños relativos sean idénticos. Más sorprendente resulta el efecto de La Bailarina [ver página original para observar el efecto]. Algunos individuos perciben a La Bailarina girando en el sentido opuesto a las agujas del reloj mientras que otros la perciben girando en el mismo sentido de las agujas. Hay incluso quien espontáneamente percibe a la bailarina cambiando la dirección en la que se mueve. Si lo intentas puedes llegar a percibir a La Bailarina girando *en el otrosentido*. No se trata de que la imagen cambie ni del punto de vista escogido, tiene que ver únicamente con el modo en que el cerebro *decide* interpretar una serie de objetos concatenados y aparentemente relacionados. El simple hecho de percibir a La Bailarina girando *es* una alucinación perceptiva. Volviendo a los pulsos binaurales "alucinación" en estos casos solamente significa el efecto producido por un sistema perceptivo que trata de convertir información dispar pero relacionada en un único objeto.

Actividad Eléctrica Cerebral

Se cree que las células neuronales suponen el sustrato funcional de la actividad mental. Se sabe que una neurona libera moléculas en los espacios sinápticos que (directamente o a través de segundos mensajeros) son capaces de modificar las propiedades de membrana de la célula así estimulada. Las propiedades de membrana están relacionadas con el equilibrio de ciertos iones (sodio y potasio principalmente) dentro y fuera de la célula lo que produce una diferencia de potencial (eléctrico) que puede ser medido a este nivel.

La actividad eléctrica de una única neurona puede ser medida incluso en el ser humano mediante la inserción de electrodos en el tejido nervioso. Caro -y bastante agresivo- este método tiene un interés limitado a la hora de estudiar "estados mentales" o la actividad general del cerebro. El electroencefalograma (EEG) es mucho menos específico pero supone

un método no invasivo de medir la actividad eléctrica global del cerebro.



Habitualmente se colocan entre 10 y 20 electrodos (en ocasiones muchos más) alrededor del cráneo y así se obtienen medidas de la actividad eléctrica, en tiempo real, de diferentes regiones cerebrales. A través de la resonancia magnética funcional (fMRI) que mide la captación de oxígeno en distintos momentos y regiones cerebrales también se obtienen medidas indirectas de la actividad cerebral pero es importante reseñar que tanto los resultados del EEG como del fMRI no son sino burdas aproximaciones, valiosísimas, eso sí, pero que apenas consiguen indicar las regiones cerebrales con más y menos actividad en un momento dado.

El EEG detecta la actividad eléctrica global de enormes grupos neuronales y expresa dicha actividad en forma de ondas. Dependiendo de patrones genéricos de actividad se observa que ciertos tipos de ondas aparecen más frecuentemente que otras. De forma general un sujeto relajado con los ojos cerrados -o [escuchando a Mozart](#)- mostrará un patrón de ondas en el rango entre 8 y 12 Hz, principalmente en las regiones posteriores del cráneo. Estas ondas se denominan "alfa" ya que fueron las primeras en identificarse.

Un ritmo "beta" corresponde a ondas de entre 12 y 30 Hz que aparecen relacionadas con actividad mental activa o bien con estados emocionales intensos (ansiedad). Por el contrario ondas de más intensidad pero muy lentas (de menos de 3 Hz) aparecen en sujetos normales durante el sueño profundo.

Algunas condiciones patológicas muestran patrones de ondas particulares. De hecho el EEG se utiliza ampliamente en el diagnóstico de la epilepsia por ejemplo, observándose ondas picudas y anchas entremezcladas en el ritmo normal "alfa" o "beta". Algunas condiciones neurológicas, estados inducidos por drogas o desórdenes del estado de ánimo producen déficits o excesos de determinados rangos de frecuencias en el EEG. Así algunos estudios sugieren que ciertas formas del trastorno por déficit de atención con hiperactividad (ADHD) podrían estar relacionadas con un exceso de ondas lentas mientras que en algunos síndromes ansioso-depresivos se podría encontrar una producción escasa de dichas ondas ("alfa"). Aunque no siempre consistentes este tipo de estudios conforman la base de ciertos tratamientos dirigidos a modificar las ondas cerebrales en sentidos específicos. El biofeedback electroencefalográfico (o neurofeedback) es una forma particular de biofeedback con la que un sujeto puede aprender a estimular o evitar determinadas frecuencias de onda cerebrales.

Biofeedback

Básicamente el biofeedback es un procedimiento mediante el cual una variable fisiológica (como la frecuencia cardíaca o la conductancia eléctrica de la piel) es amplificada y llevada al primer plano de atención de un sujeto. A continuación dicho sujeto es motivado para que trate de modificar dicha variable en una dirección específica.

Una forma común de presentación de un procedimiento de biofeedback es aquella en la que un sujeto es ligado a una máquina mediante diversos electrodos presentándole una especie de juego de ordenador en el que debe intentar mover

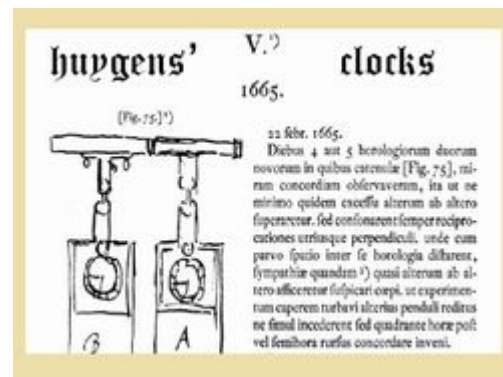
un objeto situado en una pantalla sin más herramientas que su "mente". Los movimientos (izquierda y derecha) del objeto en la pantalla variarán de forma ordenada y de acuerdo con los cambios que se produzcan en tiempo real en la variable fisiológica medida. Así por ejemplo si se mide frecuencia cardíaca el objeto se moverá a la izquierda tanto más cuanto más baje la frecuencia y se desplazará a la derecha tanto como suba esta. Paradójicamente los mejores resultados se obtienen cuando el sujeto no sabe qué variable está tratando de afectar. Y casi mágicamente con un planteamiento tan sencillo el sujeto consigue aprender a modificar ("conscientemente") una respuesta autonómica.

Aunque así presentado pueda parecer excesivamente simple el biofeedback es una poderosa herramienta de aprendizaje cuyos resultados están ampliamente contrastados. El biofeedback es utilizado en la práctica clínica por ejemplo como coadyuvante en ciertas fases del proceso de rehabilitación de lesiones nerviosas. Cuando hay una lesión medular se rompen conexiones nerviosas que permiten por ejemplo mover un dedo. En ocasiones el cuerpo es capaz de establecer nuevas conexiones y mediante el biofeedback es posible aprender a utilizarlas.

Cuando la variable medida es la frecuencia (localizada) de ondas eléctricas cerebrales medidas en el EEG el sujeto es capaz de aprender mediante el procedimiento de biofeedback (neurofeedback) a facilitar la aparición de ciertas frecuencias o a evitar ciertas otras. Diversos estudios aún germinales y controvertidos apuntan a la eficacia de tal entrenamiento en ciertos desórdenes emocionales (facilitando ritmos "alfa", relajantes), en el ADHD (estimulando patrones electroencefalográficos normales) o en la epilepsia (mediante la estimulación de frecuencias medias de ondas cerebrales). No obstante los estudios sobre neurofeedback son menos y están menos contrastados que los de otras aplicaciones del biofeedback.

Pulsos Binaurales y el Efecto de Sincronización de Frecuencias

Se afirma que los pulsos binaurales suponen otra forma de conseguir que el cerebro se "sintonice" produciendo ondas de frecuencias determinadas. Se ha mencionado ya que el rango de frecuencias de los pulsos binaurales se encuentra por debajo de los 30 Hz y que dicho rango se corresponde con el de las frecuencias de las ondas cerebrales medidas en el EEG. El Efecto de Sincronización de Frecuencias (Frequency Following Effect o FFE) es el que permite que las ondas cerebrales se desplacen hacia la frecuencia (estable) del pulso binaural.



En 1665 Christiaan Huygens descubrió que dos relojes de péndulo colgados al lado uno del otro establecían una extraña forma de simpatía; los péndulos terminaban oscilando a la misma frecuencia y exactamente 180 grados fuera de fase [cuando uno alcanzaba el extremo izquierdo al balancearse el otro alcanzaba el extremo derecho]. Se ha descubierto que la sincronización se fundamenta en los movimientos de la plataforma común de manera que los efectos de amortiguamiento favorecen el movimiento de contra-fase de los péndulos (ver [Huygens' Clocks](#)).

Sincronización en este sentido se refiere al ajuste de ritmos de osciladores periódicos debido a su interacción débil; este ajuste puede ser descrito en términos de ajuste de fases y "entrainment" de frecuencias. Los sistemas biológicos también muestran efectos de sincronización de los que el FFE sería tan sólo un ejemplo.

Se ha descrito que el hecho de escuchar pulsos binaurales promueve un cambio en los patrones generales de ondas cerebrales hacia la frecuencia (estable) del pulso. Aunque no se ha encontrado aún que este cambio suponga modificaciones similares en el ánimo o en el "estado mental" del sujeto hace años que se ofrecen grabaciones de pulsos binaurales en el rango de frecuencias "alfa" (entre 8 y 12 Hz) promocionándose como capaces de facilitar estados meditativos o como herramientas anti-estrés. Estos pulsos binaurales son habitualmente camuflados en grabaciones con sonidos naturales (canto de pájaros, ríos y cascadas, etc), músicas de ritmos repetitivos y lentos o inducciones relajantes de imaginación guiada o hipnóticas.

El Hemi-Sync es una de las marcas registradas más antiguas que yo conozco que proporciona tales grabaciones; el iMusic es una de las últimas en aparecer. Aunque el Hemi-Sync ya lo hace también, el iMusic amplía el rango de frecuencias de los pulsos binaurales realizando grabaciones no sólo con ritmos "alfa" sino con ritmos "beta" lentos o rápidos e incluso con ritmos "delta" (supuestamente facilitadores del sueño), al tiempo que se utilizan grabaciones de música normal para camuflar los pulsos. Aún muy lejos de haber sido probados sus efectos el iMusic asegura que es capaz de mejorar la capacidad cerebral; de tornarte más listo, más rápido y probablemente más feliz.

Como ya se ha mencionado un ritmo "alfa" es registrado en sujetos relajados. Por una confusión causa-efecto se tiende a creer que la estimulación de ondas "alfa" *debe producir* un estado relajado. Este efecto no ha sido corroborado aún. Además incluso el propio cambio en los patrones de ondas eléctricas cerebrales al escuchar pulsos binaurales está en entredicho. El Efecto de Sincronización (FFE) de hecho está relacionado con la aparición de potenciales auditivos evocados de latencia corta (pequeños cambios en regiones auditivas del cerebro) y no con cambios globales sobre la actividad eléctrica cerebral. El Instituto Monroe que lidera la investigación en este campo y sus resultados

consistentemente positivos en este sentido vienen siendo cuestionados al no existir resultados independientes que corroboren tales hallazgos y al existir relaciones evidentes entre el Instituto y la promoción de productos Hemi-Sync.

Conclusiones

El entrenamiento pasivo es probablemente una de las señas de identidad de nuestro tiempo. Los artilugios para cocinar, lavar o conseguir músculos de acero sin esfuerzo están de moda. El entrenamiento mental pasivo no es una excepción.

El neurofeedback es una herramienta fascinante que podría ser utilizada no sólo como instrumento terapéutico sino también como un procedimiento de entrenamiento con el que prevenir y equilibrar estados premórbidos. Aunque se necesitan estudios más profundos y amplios los resultados preliminares son prometedores.

La tendencia hacia el uso de pulsos binaurales y su atractivo "entrenamiento sin esfuerzo" junto con un marketing agresivo y estudios "científicos" parciales, predispuestos a mostrar resultados positivos sobre los productos que venden, sólo sirven para obstaculizar la investigación más prudente que este campo requiere.

Aún no existen pruebas de que escuchar pulsos binaurales pueda modificar el estado mental del oyente a pesar de las observaciones que podrían indicar un cambio secundario en las frecuencias de ondas cerebrales. Se han publicado pocos estudios independientes sobre los posibles efectos de los pulsos binaurales. Entre las experiencias más interesantes [David S. Walonick](#) describe un estudio de caso único con resultados positivos sobre un perro con crisis epilépticas. Por otro lado [Wahbeh H et al](#) encontraron un mayor índice depresivógeno y dificultades en la rememoración ante la exposición a pulsos binaurales de 7 Hz.

El neurofeedback como procedimiento clínico aún se encuentra en fase de investigación. Sus prometedores

resultados son utilizados sin embargo como fundamento para validar la tecnología de los pulsos binaurales. La verdad es que los estudios sobre el neurofeedback son todavía escasos y en muchos casos contradictorios y que no existe ninguna relación entre los posibles efectos del entrenamiento activo con biofeedback electroencefalográfico y la exposición pasiva a pulsos binaurales.

Finalmente es importante recordar que, especialmente en sujetos sanos, los patrones electroencefalográficos son excesivamente inespecíficos e interindividualmente variables. No parece razonable pretender, incluso aceptando una modificación de los patrones eléctricos cerebrales ante la exposición a pulsos binaurales, que dicha modificación pueda

ser causa de una mejora específica en las funciones cerebrales de cualquier individuo.

Tanto las terapias compensadoras como la facilitación de particulares rangos de frecuencia, atendiendo a patrones de actividad individualizados, parecen ser las direcciones de investigación actuales más sugerentes en este campo.

Chema Nieto

Gráficos y Figuras:

Elisa Robles y Chema Nieto

Referencias web en el artículo original