



El sistema de la música

Física, oído y cerebro: qué pasa de verdad cuando suena una nota.

Imagina por un momento que estás en el WiZink Center, Rosalía pisa el escenario y ataca los primeros compases de «Despechá». O, si lo prefieres, pon que vas corriendo por El Retiro con los auriculares puestos y te suena el «Felices los 4» de Maluma en Spotify. Aunque las dos escenas no se parecen en nada, en las dos se cumple el mismo esquema general: alguien (o algo) genera vibraciones, estas vibraciones viajan por algún camino, y un oído las recoge al otro lado. El detalle físico es muy distinto — en el WiZink el aire de la sala lleva la onda hasta tu pabellón auditivo, en los auriculares la cosa va por electrónica casi pegada a tu tímpano—, pero la cadena conceptual es la misma.

Antes de meternos en harina, conviene desmontar un mito: el de «yo no tengo oído musical». El cerebro humano viene, en la inmensa mayoría de los casos, preparado para procesar música. Tener «oído» no es un don de unos pocos elegidos: es una capacidad común a casi todos los seres humanos. Lo que sí varía mucho es cuánto se cultiva esa capacidad. Como dice el divulgador científico Philip Ball, la pregunta correcta no es «¿quién tiene talento musical?» sino «¿por qué algunos lo desarrollan y otros no?». Este libro asume que tú puedes desarrollarlo, y que el camino para hacerlo empieza por entender qué pasa exactamente cuando suena una nota.

Ese es el esquema que vamos a desarrollar en todo el tema:

Emisor (instrumento + músico) → **medio** (aire o electrónica + auriculares) → **receptor** (oído + cerebro).

Fíjate que el receptor no termina en el oído. El oído es la puerta de entrada, pero lo que ocurre como experiencia musical sucede en el cerebro: **lo que llamamos «música» no existe sin alguien que la interprete neurológicamente.**

Desde el punto de vista físico, el sonido musical es energía que se propaga: ⁵⁴ vibraciones que viajan a través de un medio en forma de ondas. No detectamos todas.

Rango audible humano: ~20 Hz - 20 kHz. Es más una referencia que una frontera nítida: la mayoría de adultos no llega ya a 20 kHz, depende de la edad y la salud auditiva, y a volúmenes muy bajos tampoco oímos en los extremos. Por debajo de 20 Hz: *infrasonido*. Por encima de 20 kHz: *ultrasonido*. Por eso el silbato del adiestrador hace que el perro del vecino se vuelva loco mientras tú no oyes nada, y la ecografía con la que vimos a tu sobrino no zumbaba en la sala.

El tipo de energía que viaja en una onda sonora es **energía elástica**. La palabra «elástica» se refiere a una propiedad del aire que no solemos pensar: el aire se puede comprimir y, al hacerlo, «empuja de vuelta» para recuperar su estado original, igual que un muelle. Cuando algo vibra, comprime y descomprime el aire que lo rodea sucesivamente, y esos ciclos de compresión y expansión se propagan en todas direcciones. Cuando en un concierto sientes el bombo en el pecho, no es metáfora literaria: es literalmente aire empujándote y soltándote varias veces por segundo. Ese coche con el subwoofer a tope que pasa por tu calle un sábado por la noche está, físicamente, golpeándote suavemente con el aire.

El emisor

En el emisor encontramos primero un mecanismo de **excitación primaria**, que activa el instrumentista: puntear o frotar una cuerda, soplar una caña, hacer vibrar los labios contra la boquilla de un metal, dirigir una columna de aire contra un borde biselado. En el escenario son las cuerdas vocales de Rosalía cuando arranca a cantar, los dedos del bajista pegando a las cuerdas, las baquetas del batería golpeando los parches. En la calle puede ser tan simple como las palmas en la plaza del pueblo en las fiestas de agosto, o el claxon de un coche atascado en la M-30. En todos los casos hay una fuente de energía que arranca el proceso.

A continuación está el **elemento excitado**: la pieza concreta que vibra y mantiene el sonido. En la guitarra, quien fija la nota es la cuerda, no la caja. En el violín, la cuerda. En el órgano, la columna de aire dentro del tubo. En la flauta, también la columna de aire. En la voz, los pliegues vocales. En el tambor, la membrana. La caja de la guitarra, la madera del violín o el cuerpo del piano hacen otra cosa muy importante (ahora vamos), pero no son el elemento excitado.

Este elemento hace dos cosas a la vez:

- Establece la **frecuencia fundamental**, que percibimos como altura del sonido (lo grave o agudo que sea). En una cuerda de guitarra, esta frecuencia depende de la longitud vibrante, la tensión y la masa de la cuerda. En un tubo de viento, de su longitud y de cómo se sopla. Cada tipo de instrumento tiene su propia receta, pero la idea es la misma.
- Vibra simultáneamente en modos superiores que producen los **armónicos**, responsables en buena parte del timbre (el «color» del sonido). Los armónicos son frecuencias múltiplos enteros de la fundamental (el doble, el triple, el cuádruple...) que acompañan a casi cualquier nota natural. Su mezcla concreta y la intensidad relativa de cada uno es lo

que le da personalidad al sonido y nos permite distinguir un piano de una flauta. Los veremos en detalle en el Tema 4.

Digo «en buena parte» porque el timbre es más rico que una mera mezcla de armónicos. También influye cómo nace y muere el sonido (el ataque, la caída, el ruido del momento inicial), las pequeñas inarmonicidades reales del instrumento, las resonancias fijas del cuerpo y la evolución temporal del espectro mientras la nota suena. Volveremos sobre todo esto en el Tema 4.

Aquí hay una pregunta cuya respuesta es más interesante de lo que parece: ¿por qué reconoces la voz de Rosalía a la primera, aunque no hayas oído nunca la canción? Aitana podría cantar exactamente la misma nota, con la misma fuerza, y aun así las distinguirías sin esfuerzo. La razón es que sus cuerdas vocales y sus cavidades resonadoras (la garganta, la boca, los senos nasales) producen un sonido con un perfil propio: distinta mezcla de armónicos, pero también vibrato distinto, articulación distinta, ataque distinto. La altura coincide; todo lo demás delata.

Una vez puesto en marcha, el instrumento sirve además como **reservorio**: almacena la energía que se le ha transferido y la libera de manera progresiva.

→ DEFINICIÓN

Resonador. La parte del instrumento que amplifica y colorea la vibración del elemento excitado: la caja de la guitarra, la tapa del piano, el cuerpo del violín, el tracto vocal. Refuerza ciertas frecuencias por encima de otras. No fija la altura, pero sí participa de manera decisiva en cómo suena la nota una vez producida.

En la guitarra, el camino completo es muy visible: el dedo o la púa excitan la cuerda (excitación primaria), la cuerda vibra y establece la altura y los armónicos (elemento excitado), la caja amplifica y colorea esa vibración (resonador), y de ahí sale el sonido al aire.

El medio

En el medio interviene el aire propiamente dicho y todos los elementos circundantes: personas, paredes, techos, muebles, obstáculos. Cada uno aporta su parte a la propagación a través de dos fenómenos básicos —**reflexión** y **absorción**—, aunque hay más en juego (transmisión, difracción, reverberación, atenuación con la distancia) que iremos viendo en su momento. La acústica de un espacio es el resultado combinado de cómo se reparten todos esos efectos.

Esto se nota en cuanto cambias de sitio. La misma canción suena distinta en el coche con las ventanillas subidas, en el coche con las ventanillas bajadas yendo por la N-VI, en el salón de tu casa con sofás y cortinas que se «tragan» parte del sonido, o en el portal vacío con suelos de mármol donde tu propia voz parece la de otro. En el WiZink el ingeniero de sonido trabaja para que la voz de Rosalía llegue limpia hasta el último asiento; en Mad Cool, al aire libre, no hay paredes que devuelvan el sonido lateralmente, así que la energía se dispersa y se atenúa con la distancia, y por eso un festival al aire libre suena distinto a un concierto en sala. La acústica de la verbena del pueblo, con la plaza enmarcada por las casas, multiplica las reflexiones de los graves —que tienen longitudes de onda largas y rebotan con facilidad— y por eso bailas como si estuvieras dentro del altavoz.

El receptor

Al oyente le llegan las vibraciones en forma de ondas de presión que hacen oscilar el **tímpano**. El tímpano convierte esas variaciones de presión del aire en movimiento mecánico, que los tres huesecillos del oído

medio (martillo, yunque y estribo) transmiten a la **cóclea**, un conducto enrollado con forma de caracol lleno de líquido. Dentro de la cóclea hay una estructura clave: la **membrana basilar**. Sobre ella se reparten las distintas frecuencias del sonido como en un piano desplegado: las frecuencias agudas excitan la zona más cercana a la entrada de la cóclea, y las graves la zona más alejada (a esto se le llama *organización tonotópica*). Solo cuando esas vibraciones de la membrana se convierten en impulsos nerviosos —en las llamadas *células ciliadas*— el sonido empieza a viajar al cerebro.

A este proceso de convertir una vibración mecánica en una señal nerviosa los biólogos lo llaman **transducción**: el oído es, en realidad, un transductor biológico extraordinariamente refinado, mucho más sensible que la mejor microfonía profesional.

El oído es asombrosamente sensible. En sonidos cercanos al umbral de audición, los desplazamientos del tímpano que somos capaces de detectar son **del orden del diámetro de un átomo**. En condiciones cotidianas el tímpano se mueve mucho más, claro, pero esa cifra mínima da una idea del nivel de afinación que tiene el oído.

Y al mismo tiempo es un sistema vivo, que se adapta. Cuando entras en un concierto el volumen te abruma, y a los diez minutos estás cómodo. Cuando subes el volumen del coche al meterte en la M-30 porque «no se oye», lo que ha pasado es que el ruido de la carretera ha enmascarado parte de la música. Cuidado, eso sí: que el oído se adapte no significa que esté seguro.

Cuidado con el volumen prolongado. La exposición prolongada a niveles altos —por encima de **85 dB(A)** según organismos como NIOSH— puede causar fatiga auditiva primero y daño permanente después, aunque tú ya no notes el volumen como agresivo. Para los músicos esto es importante: los ensayos largos, los

conciertos sin protección y los auriculares a tope durante horas se acumulan.

§ 1.4

Las tres cualidades del sonido

Antes de seguir conviene afinar tres palabras que solemos usar como si fueran sinónimos:

- **Sonido** es cualquier vibración audible: el motor de un autobús, una palmada, una canción.
- **Tono** es un sonido con una altura definida, donde el oído puede señalar inequívocamente «esa nota es esta».
- **Tono musical** es un tono que aparece en un contexto musical.

Un ruido también es sonido y también puede tener intensidad, color y carácter reconocibles —el frenazo del metro de Sol, el crujido de una puerta— pero no tiene una altura clara. La frontera entre ruido y música no es un muro: hay percusiones musicales sin altura definida (un platillo, una caja, unas palmas) y hay ruidos cotidianos con cierta tonalidad. Lo que sí es cierto es que un tono musical típico se deja describir bien con tres características básicas: **altura, sonoridad y timbre**.

A cada una de estas sensaciones le corresponde una magnitud física medible:

- La **altura** está asociada principalmente a la *frecuencia fundamental* del sonido (número de oscilaciones por segundo, medido en Hz). Es lo que hace que distingas a la primera el agudo de «Despechá» del medio-grave de «Felices los 4».
- La **sonoridad** está asociada principalmente a la *amplitud* de la oscilación de presión que llega al oído, pero no solo. A igual amplitud física,

un sonido nos parece más o menos fuerte según su frecuencia, su duración y su espectro. Eso último —que la frecuencia altere lo fuerte que suena algo a igual amplitud física— tiene un nombre y un mapa entero asociado: las *curvas de igual sonoridad*, que veremos con detalle en el Tema 3. De momento basta con saber que el oído no es igualmente sensible a todas las frecuencias: tiende a oír mejor lo que está alrededor del rango de la voz humana, y peor los extremos graves y agudos. Por eso si tocas en la guitarra la sexta cuerda al aire (un Mi grave) y luego la primera al aire (otro Mi, dos octavas más arriba) con la misma fuerza, no se perciben igual de sonoros.

-
- El **timbre** está asociado al *espectro* del sonido (su mezcla de armónicos) y a su evolución en el tiempo: cómo nace la nota, cómo se sostiene y cómo muere. Es lo que te permite reconocer que es Rosalía con tres sílabas, aunque la canción sea nueva y suene en el supermercado de fondo. En la guitarra lo notas enseguida si tocas la misma nota cerca del puente y luego cerca de la boca o del mástil: la altura es la misma, pero el color cambia.

Si a un músico le presentas un tono casi puro —una senoide pura, parecida al pitido del microondas o de un aparato médico—, le costará reconocerlo o ubicarlo. El oído está acostumbrado a contar con armónicos y con la evolución temporal del sonido para etiquetar lo que escucha; sin esa información, queda algo demasiado pulido, casi inhumano.

§ 1.5

El sentido temporal y el sistema nervioso

Hay otro elemento esencial que no podemos olvidar: la música ocurre en el tiempo. Sus características físicas cambian continuamente, y eso forma parte de su esencia. Tan central es esta dimensión que dedicaremos un tema completo (el Tema 6) a explorar el ritmo y todo lo que conlleva.

Experimento rápido. Abre Audacity (es gratuito) o cualquier app de edición de audio. Graba una sola nota de tu guitarra o de un piano, dale al *Reverse* (invertir audio) y vuelve a escucharla. Te llevarás una sorpresa: aunque las frecuencias presentes son exactamente las mismas que antes, el sonido ya no parece de tu instrumento. Es como si fuera otro.

La razón: los ataques se han convertido en finales y los finales en arranques. El «golpe seco que se va apagando» característico de la guitarra suena ahora al revés, y eso destruye el timbre que tu cerebro asocia al instrumento. Si lo pruebas con una canción entera —«Bohemian Rhapsody» es un clásico— el efecto es aún más espectacular. Es la prueba palpable de que **el orden temporal no es decoración, es contenido.**

Cuando suenan dos o más sonidos a la vez, aparecen sensaciones que no se reducen a «altura + sonoridad + timbre» individuales: consonancia y disonancia, sensación de tensión que pide resolverse, distinción entre acordes mayores y menores, batidos. Todo esto nos lleva al concepto de armonía, que veremos más adelante.

El sistema nervioso tiene una marcada tendencia a categorizar las alturas en escalones discretos: encajamos lo que oímos en notas, y por eso podemos hablar de «un Do» o «un Fa#». Pero eso no significa que el cerebro no procese también lo continuo. De hecho lo hace constantemente: el vibrato del violín, los *bendings* de la guitarra eléctrica, los glissando del trombón, el portamento de un cantante, las inflexiones del habla. La música del mundo no se construye solo con notas separadas: en la afinación del flamenco hay microtonos y inflexiones que no caen en casillas fijas, en el blues los *bendings* son centrales, en el gamelán indonesio se usan escalas que no encajan con las occidentales, y en muchas tradiciones la altura «exacta» es inestable a propósito. Lo discreto y lo continuo conviven.

Lo que sí es cierto es que el cerebro presta más atención a las **transiciones entre alturas** que al valor absoluto de cada una. Por eso casi todo

el mundo reconoce «Cumpleaños feliz» en cualquier tono pero pocos identifican en qué tono concreto está sonando. Esa habilidad —el llamado *oído absoluto*— no es la capacidad por defecto del cerebro, sino una forma específica de codificación que se desarrolla en algunos casos por una combinación de exposición temprana, entrenamiento, predisposición genética y, según algunas hipótesis, contacto en la infancia con lenguas tonales. Mozart la tenía. La inmensa mayoría de los músicos profesionales no, y aun así viven y trabajan perfectamente sin ella.

§ 1.6

Psicoacústica: medir lo subjetivo

La **psicoacústica** es la rama de la psicofísica que estudia el vínculo entre los estímulos acústicos y las sensaciones auditivas que producen. Es decir, intenta tender un puente entre lo que ocurre físicamente en el aire y lo que ocurre subjetivamente en la cabeza del oyente. Esto la convierte en una disciplina rigurosa que, sin embargo, trabaja con respuestas humanas y por tanto con probabilidades: lo que se mide no es un valor único determinista, sino la frecuencia con la que un oyente típico percibe tal o cual estímulo.

Una de sus funciones principales es determinar, para cada sensación, el valor mínimo detectable del estímulo físico responsable.

→ DEFINICIÓN

Diferencia apenas perceptible (DAP). El cambio más pequeño en la magnitud física que el oyente es capaz de notar. Es lo que vives cada vez que toqueteas el ecualizador de Spotify: hay un punto en el que sigues moviendo la barra de los graves y ya no notas que pase nada. Estás por debajo de la DAP de esa banda. **No es un único número universal:** depende de la frecuencia, del nivel del sonido, del entrenamiento del oyente y del contexto.

A diferencia de la física tradicional, hay dos dificultades inherentes al estudio de la psicoacústica:

01 **El cerebro se adapta**

Repetir un mismo estímulo varias veces a la misma persona modifica el sistema bajo observación: el cerebro se habitúa, aprende, cambia su respuesta. Es lo mismo que te pasa cuando te mudas a una calle ruidosa y al cabo de un mes ya no oyes los coches, o cuando dejas de notar el zumbido de la nevera hasta que se apaga y de pronto la cocina parece una catedral.

02 **Importa el sujeto**

Su motivación, su estado mental y físico interfieren en la medición. No es lo mismo hacerle un experimento a una sola persona muchas veces que repetirlo una vez con muchas personas distintas.

Estos dos factores son los que hacen complejo, pero también fascinante, el estudio de la psicoacústica.

§ 1.7

¿Qué es la música?

Aquí viene una pregunta aparentemente sencilla que en realidad no lo es nada. ¿Qué es exactamente la música? Antes de responder, déjame contarte una anécdota.

En 1952, en una sala de conciertos del estado de Nueva York, el pianista David Tudor estrenó una pieza extraña. Se sentó al piano, abrió la partitura y, durante exactamente cuatro minutos y treinta y tres segundos, no tocó una sola nota. Solo marcaba el final de cada uno de los tres movimientos con un pequeño gesto: cerrando y abriendo la tapa del teclado. La pieza se llama «4'33"» y la firmó el compositor estadounidense John Cage. Para muchos, una provocación gratuita. Para otros, una obra clave del siglo XX. ¿Es eso música? ¿Y si te dijera que el propio Cage explicaba

que la pieza estaba «hecha» de los ruidos involuntarios del público —toses, asientos crujendo, susurros— que llenan ese silencio aparente?

Cage usaba «4'33"» para una idea concreta: que cualquier definición que demos de música va a quedar incompleta si se queda solo en lo físico (vibraciones, partituras, instrumentos). Porque la música, en último extremo, no vive en el aire. Vive en quien la escucha.

Antes de entrar de lleno en lo cerebral, conviene asomarnos un instante al órgano que la procesa.

El cerebro humano: 86.000 millones de neuronas. Pero la cifra impresiona menos que el detalle clave: lo importante no son las neuronas en sí, sino las conexiones entre ellas, su actividad coordinada en el tiempo y los patrones que forman. Cada sensación, cada pensamiento, cada emoción es una distribución específica de actividad neuronal repartida en el espacio y desplegada en el tiempo.

Con eso en mente, podemos arriesgar una primera definición operativa: la música es la transmisión de energía en forma de ondas sonoras que viajan por el aire (o por una cadena electrónica) hasta el oído y allí desencadenan patrones de actividad neuronal. Pero esa definición se queda corta: la música también vive como partitura, como melodía recordada que tarareas mientras esperas el autobús, como archivo MIDI antes de salir por un altavoz, como idea en la cabeza del compositor. Y, sobre todo, la música **ES lo que esos patrones provocan**: la emoción cuando entra el estribillo, el recuerdo del verano pasado que vuelve con dos acordes, la satisfacción cuando una tensión armónica se resuelve.

Los sentimientos estéticos están directamente relacionados con el procesamiento neural de información. De ahí que la música pueda hacernos llorar sin que pase absolutamente nada en el mundo exterior.

Existe una hipótesis interesante que sostiene que la música pudo surgir como un subproducto evolutivo del lenguaje, o quizá al revés: es un debate abierto, no una conclusión establecida. Lo que sí es claro es que el

lenguaje y la música tienen relaciones íntimas. Piensa en la entonación cantarina con la que todo el mundo le habla a un bebé, o en la nana con la que la abuela duerme al niño en el pueblo. Antes de la letra ya hay melodía.

Para entender de verdad qué hace la música por dentro, sin embargo, necesitamos mirar más de cerca lo que pasa cuando suena una nota. Ahí está la clave de buena parte de este libro.

§ 1.8

Todo el cerebro hace música

Aquí está, probablemente, una de las ideas más importantes de todo este libro. Si tuvieras que quedarte con una sola frase de este tema, podría ser esta: **la música es un fenómeno pan-cerebral**.

¿Qué quiere decir eso? Lo formula muy bien el divulgador Philip Ball:

— CITA

Cuando oímos música se nos encienden todas las luces. Prácticamente se activa el cerebro entero: los centros motores que regulan el movimiento, los centros de emociones primarias, los módulos asociados al lenguaje que procesan la sintaxis y la semántica, las autopistas auditivas. A diferencia del lenguaje, la música no tiene asociado un sistema de circuitos que se localice en una o unas pocas áreas concretas: es un fenómeno pan-cerebral.

— Philip Ball, *El instinto musical*

Y añade una idea que conviene leer dos veces: «No existe ningún otro estímulo que involucre de manera comparable a todos los elementos de

nuestra mente y los obligue a entablar un diálogo: al hemisferio izquierdo con el derecho, a la lógica con la emoción».

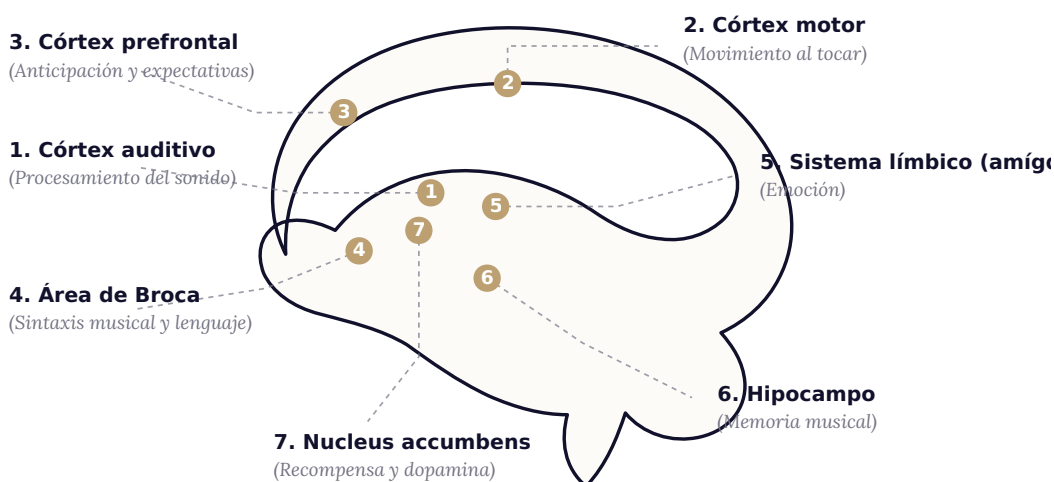
No hace falta que memorices ahora todos los nombres que van a aparecer a continuación: quédate con la idea de que cada zona aporta una función distinta a una experiencia que tú vives como una sola canción.

Léelo despacio. Lo que está diciendo Ball, con respaldo de la neurociencia moderna, es algo que cualquier músico intuye: cuando suena una canción que te llega, no estás haciendo una cosa, estás haciendo muchas a la vez. Estás procesando información acústica (autopistas auditivas), recordando dónde la oíste por primera vez (hipocampo), sintiendo lo que sentías entonces (amígdala y sistema límbico), anticipando el siguiente acorde (córtex prefrontal), interpretando la letra como lenguaje (área de Broca y zonas asociadas), moviendo el pie sin pensar (córtex motor) y reconociendo la voz de quien canta (planum temporale, especializado en timbre). Todo eso al mismo tiempo. En décimas de segundo. Sin esfuerzo consciente.

Veámoslo gráficamente:

El cerebro entero hace música

Áreas activadas simultáneamente al escuchar una pieza



► DIAGRAMA 1 • ESQUEMA PAN-CEREBRAL

Este esquema no representa una cadena de pasos uno detrás de otro, sino una distribución en paralelo: después del procesamiento auditivo inicial, muchas redes trabajan a la vez sobre la misma información.

Esta arquitectura es radicalmente distinta a la del lenguaje. El lenguaje verbal tiene «centros» relativamente localizados (el área de Broca para la producción, el área de Wernicke para la comprensión). Si una lesión cerebral afecta a una de esas áreas, las consecuencias son específicas y reconocibles. La música, en cambio, no tiene un «centro»: tiene una red distribuida. Por eso una persona puede perder la capacidad de hablar tras un ictus pero conservar la capacidad de cantar. Y por eso, también, una persona con afasia severa puede emocionarse con la «Sinfonía nº 9» de Beethoven exactamente igual que antes.

Por eso este libro mezcla, como lleva avisando desde la primera página, física, fisiología, psicología, biología y teoría musical. Esa mezcla no es una elección estética: es la forma fiel de hablar de la música, porque la música, dentro de tu cabeza, es exactamente esa mezcla.

Hay un detalle más que merece conocerse, porque cierra el círculo de por qué la música nos importa tanto.

La música activa el circuito de recompensa. En 2005, los neurocientíficos Vinod Menon y Daniel Levitin publicaron un estudio que demostró que escuchar música activa el *nucleus accumbens*, el centro de recompensa del cerebro: la misma estructura que se enciende cuando comes algo que te gusta, cuando ganas una apuesta o cuando un adicto recibe su dosis. Y lo hace por la misma vía química: liberando **dopamina**.

De hecho, ya en 1980 el médico Avram Goldstein había demostrado que si bloqueas farmacológicamente los receptores de opiáceos del cerebro con una sustancia llamada *naloxone*, el placer de escuchar música desaparece. Una canción que te emociona hace literalmente lo mismo en el cerebro que una droga, sin sus efectos secundarios. Por eso la música nos acompaña en

cada rito vital importante: bodas, funerales, fiestas, momentos íntimos. **El cerebro la registra como recompensa.**

Aquí merece la pena matizar un mito que se ha popularizado mucho: la idea de que el hemisferio derecho del cerebro es el «creativo» y el «musical», mientras que el izquierdo es el «analítico» y «verbal». La realidad es más interesante. El hemisferio izquierdo tiende a procesar la información de forma más secuencial y analítica (especialmente útil para el lenguaje verbal y el ritmo articulado), y el derecho tiende más al procesamiento global, espacial e integrador en escalas temporales largas (especialmente útil para reconocer melodías y para la percepción musical en su conjunto). Pero la idea de que la música «vive» en el hemisferio derecho y el lenguaje en el izquierdo es falsa: ambos hemisferios participan en ambas tareas, con énfasis distintos según el caso. Una persona con el cuerpo calloso seccionado (la estructura que conecta ambos hemisferios) sigue oyendo y procesando música, aunque algunas tareas musicales muy específicas se desorganicen.

§ 1.9

Tocar cambia tu cerebro

Esta sección probablemente te interese particularmente si das clases de música o si llevas años practicando un instrumento, porque tiene implicaciones directas en lo que haces a diario.

Los neurocientíficos Christian Gaser y Gottfried Schlaug, entre otros, han comparado en estudios rigurosos cerebros de músicos profesionales con cerebros de no músicos. En varios trabajos se observan diferencias estructurales que apuntan en una dirección parecida:

- El **cuerpo calloso** —la estructura que conecta los dos hemisferios— suele ser mayor en músicos, sobre todo en los que tocan instrumentos

que exigen coordinación bilateral muy fina, como teclistas y guitarristas.

-
- La **representación cortical de la mano dominante** (la que pisa cuerdas en un guitarrista, la que toca melodías en un pianista) tiende a estar más desarrollada en músicos: el cerebro dedica más «territorio» a esa mano porque la usa más.
-
- La **zona del córtex auditivo que procesa el tono** también aparece más desarrollada en músicos entrenados. Las distinciones finas entre alturas, que un oyente no entrenado no percibe, se reflejan a veces como diferencias estructurales medibles.

Pero el dato realmente revelador es este: las diferencias son MAYORES cuanto MÁS LARGA ha sido la formación musical. Una parte importante de esas diferencias parece estar relacionada con la práctica acumulada. No conviene leerlas como una marca de nacimiento fija: **el entrenamiento moldea el cerebro.**

Esto tiene una consecuencia gigantesca para ti, sobre todo si estás empezando con la guitarra y a veces piensas que «no se te da». Cada hora que pasas con el instrumento, cada cambio de acorde, cada rasgueo, cada vez que tu mano busca un traste sin mirar, está literalmente reorganizando tu corteza motora. No es una metáfora pedagógica. Es lo que muestran las técnicas modernas de neuroimagen. La *plasticidad cerebral musical* es real, medible y acumulativa. Y no tiene fecha de caducidad: hay estudios que muestran cambios cerebrales significativos en adultos que empiezan a aprender un instrumento ya pasados los cuarenta.

El musicólogo Aniruddh Patel —al que volveremos en el Tema 6, cuando hablemos de ritmo y de la famosa cacatúa Snowball— resumió esta idea con una frase poderosa:

— CITA

La idea de que algo es fruto de la adaptación biológica o un adorno se basa en una dicotomía falsa. Es posible que la música sea un invento humano, pero en ese caso se asemeja a la capacidad de encender fuego y controlarlo: es un invento que transforma la vida humana. Es más, en cierto sentido, resulta más extraordinario que el control del fuego, porque la música no es solo un producto de nuestras facultades mentales sino que también es capaz de modificar nuestro cerebro.

— Aniruddh Patel

Léelo otra vez. La música, a diferencia de casi cualquier otra cosa que hagamos, modifica el órgano que la procesa. Tocar guitarra te cambia el cerebro. Aprender a leer una partitura te cambia el cerebro. Escuchar atentamente —no de fondo, escuchando de verdad— te cambia el cerebro.

La regla de las 10.000 horas. El psicólogo Anders Ericsson ha documentado que alcanzar nivel de experto en cualquier disciplina —música, ajedrez, deporte, escritura— requiere unas diez mil horas de *práctica deliberada*. Tres horas diarias durante diez años. Lo notable no es solo la cifra, que aparece consistentemente en estudio tras estudio, sino que la práctica es CAUSA de la pericia, no solo correlación: en estudios donde se ha seguido a alumnos divididos secretamente en grupos de «talento alto» y «talento bajo», los que alcanzaron mayor maestría años después fueron simplemente los que más habían practicado, independientemente del grupo inicial. El talento, en buena medida, es una etiqueta retrospectiva que ponemos al esfuerzo invisible.

Y por si te aparece el contraejemplo evidente: incluso **Mozart cumple la regla**. No compuso a los cuatro años, sino a los seis; su primera sinfonía la escribió a los ocho. Su padre, considerado en la época el mejor profesor de música de Europa, le sometió a una instrucción intensísima desde los dos años, varias horas al día. Si echamos la cuenta, había completado sus diez mil horas justo cuando produjo su primera obra significativa. La precocidad existe, pero la pericia siempre se gana.

Esto debería ser argumento suficiente para tomar la música en serio, aunque solo sea como afición.

§ 1.10

Mitos que la ciencia ha desmentido

Ya que hemos entrado en territorio cerebral, conviene aprovechar para limpiar algunos mitos populares que circulan demasiado.

El primero es el famoso «**efecto Mozart**»: la idea de que escuchar música clásica, especialmente Mozart, hace a la gente más inteligente. Es uno de los mitos más extendidos sobre la música y el cerebro. Se popularizó tras un estudio publicado en 1993 por la psicóloga Frances Rauscher en la

revista *Nature*. El estudio, sin embargo, mostraba un efecto pequeño y muy específico: un grupo de estudiantes universitarios que había escuchado una sonata de Mozart obtuvo, durante unos quince minutos, mejores resultados en una tarea concreta de razonamiento espacial. Solo eso. La prensa convirtió el hallazgo en titulares delirantes («Mozart hace más inteligentes a los bebés») y la industria se aprovechó con CDs y juguetes «para estimular el cerebro del bebé». Pero las réplicas posteriores serias —decenas— no confirmaron el efecto. **El «efecto Mozart» tal y como circula popularmente no existe.**

¿Significa eso que escuchar música no sirve para nada? Por supuesto que no. La música tiene efectos reales y medibles: regula la respuesta emocional, mejora el estado de ánimo, ayuda a la concentración en algunas tareas, acompaña el ejercicio físico. Pero el «efecto Mozart» en su versión popular —escuchar a Mozart te vuelve más listo de manera estable y general— es un mito.

El segundo mito ya lo hemos tocado pero conviene insistir: la idea de la **lateralización rígida** («la música está en el hemisferio derecho, el lenguaje en el izquierdo») no se sostiene. Es una simplificación que sirve para los reels de Instagram pero que no refleja cómo funciona el cerebro. Como vimos, la música es pan-cerebral: ambos hemisferios participan, con énfasis distintos según la tarea concreta.

Y un tercer mito, quizá el más persistente y el más perjudicial para la pedagogía musical: la idea de que **«yo no tengo oído musical»**. Es falso. Tu cerebro está, como hemos visto, biológicamente preparado para procesar música. La pregunta no es si tienes oído, sino cuánto lo has entrenado y, sobre todo, qué has hecho con la información que llega a tu sistema auditivo. La *amusia congénita* (la incapacidad real para procesar música, asociada a alteraciones cerebrales específicas) parece afectar solo a una minoría de la población —a menudo se cita una cifra cercana al 4%, según cómo se mida—. La gran mayoría tenemos la maquinaria básica; lo único que cambia es lo que hemos hecho con ella. **Si llegas a este libro pensando que no tienes oído musical, te aviso: vas a tener que actualizar esa idea sobre ti mismo en algún momento.**

La música, en definitiva, no es una habilidad reservada a unos elegidos. Es una capacidad humana común que se cultiva con tiempo y atención. Esa capacidad musical, en cierto modo, está escondida en cada uno de nosotros, esperando a que la cultivemos. Quizá no escribirás «Don Giovanni», pero el cerebro que la procesa lo tienes.

Y este es el momento, antes de cerrar el tema, de dejar una frase del propio Ball que resume mejor que ninguna otra de las que he leído el espíritu del libro entero:

— CITA · CIERRE

La música no es una simple cuestión de matemáticas, sino la fusión más extraordinaria que existe de ciencia y arte, lógica y emoción, física y fisiología.

— Philip Ball

Esa frase es el plano del edificio que estamos construyendo.

Lo más asombroso, y con esto cerramos el cuerpo del tema, es que el cerebro humano parece estar instintivamente preparado y motivado para entretenerse con el procesamiento de sonidos, aun cuando el contexto no se lo exija. Tarareas en la ducha sin querer. Silbas mientras vas a comprar el pan. Se te queda pegada la melodía del anuncio que han puesto tres veces en la radio del taxi. Algo nos hace volver una y otra vez al sonido organizado. De por qué ocurre eso —y de cómo la física, la fisiología y la cultura conspiran para que ocurra— va el resto del libro.

Lo que has visto en este tema

Si tuvieras que quedarte con siete ideas de este primer tema, serían estas:

- 01 El sonido es **energía elástica** que viaja del emisor al receptor a través de un medio. El receptor no termina en el oído: la música, como experiencia, ocurre en el cerebro.
 - 02 Todo emisor tiene tres partes funcionales: la **excitación primaria** (lo que arranca el sonido), el **elemento excitado** (lo que vibra y mantiene la nota) y el **resonador** (lo que amplifica y colorea esa vibración).
 - 03 Todo tono musical se describe con tres cualidades: **altura** (frecuencia fundamental), **sonoridad** (amplitud, pero también frecuencia, duración y espectro) y **timbre** (espectro y su evolución temporal).
 - 04 El oído está organizado **tonotópicamente**: cada frecuencia activa una zona distinta de la cóclea, y por eso podemos distinguir notas. La transducción de la presión del aire a impulsos nerviosos ocurre en la cóclea, no antes.
 - 05 La **psicoacústica** estudia el puente entre lo físico y lo perceptivo, y trabaja con probabilidades porque mide respuestas humanas. Su unidad básica de medida es la diferencia apenas perceptible (DAP).
-

06

La música es un **fenómeno pan-cerebral**. No tiene un «centro» en el cerebro: activa redes distribuidas que incluyen áreas auditivas, motoras, emocionales, lingüísticas y de memoria. Además, escuchar música activa el *nucleus accumbens*, el centro de recompensa cerebral, liberando dopamina —el mismo mecanismo neuroquímico que el sexo, la comida o las drogas—.

07

Tocar un instrumento **reorganiza el cerebro**. La plasticidad cerebral musical es efecto en buena medida del entrenamiento acumulado, no una marca de nacimiento. La regla de las diez mil horas de práctica deliberada (Ericsson) explica por qué incluso los aparentes prodigios —Mozart incluido— acumulan años de entrenamiento intensivo. Los mitos del «efecto Mozart», de la lateralización rígida y del «no tengo oído musical» no resisten el contraste con la neurociencia actual.

Práctica

Para probar en casa

Cuatro experimentos cortos para aterrizar los conceptos sobre el cuerpo, no solo sobre el papel:

01

La DAP en tu ecualizador

Pon una canción cualquiera en Spotify, abre el ecualizador y mueve la barra de los graves muy poco a poco hacia arriba. Llega un punto en el que sigues moviendo la barra y ya no notas que pase nada audible. Ese es tu umbral DAP en la banda de graves para esa canción y a ese volumen. Repítelo con la barra de agudos: probablemente notarás que tu DAP no es la misma en todas las bandas.

02 Batidos con tu guitarra

Afina aproximadamente la quinta y la sexta cuerdas. Después desafina ligeramente la sexta hasta que, al tocar las dos juntas (la sexta pisada en el quinto traste y la quinta al aire por ejemplo, que deberían dar el mismo La), oigas una pulsación que sube y baja: como un wah-wah lento. Eso son los batidos. Cuanto más cerca estén las dos cuerdas de afinar exactamente, más lento será el wah-wah; cuando desaparezca, estás en perfecta afinación. Volveremos a esto en el Tema 2 con más profundidad.

03 Inversión de timbre

Graba en Audacity una sola nota de tu guitarra (al menos un par de segundos, dejando que se apague sola). Aplica «Reverse» y escúchala. Aunque las frecuencias que contiene son las mismas, el sonido ya no parece tu guitarra: es otro instrumento. Compruebas en directo lo que comentábamos sobre la importancia de la evolución temporal en el timbre.

04 Plasticidad en directo

Coge tu guitarra y toca, con los ojos cerrados, algo que te sepas perfectamente de memoria: los acordes de una canción que llevas años tocando, una escala que hayas repetido cientos de veces. Observa cómo tu mano «sabe sola» qué hacer. No estás pensando en el siguiente acorde: tu córtex motor lo tiene cableado. Eso es plasticidad cerebral musical en directo, sin necesidad de resonancia magnética.

Glosario

Glosario rápido del tema

Términos técnicos introducidos en este tema, en una línea cada uno:

TÉRMINO	DEFINICIÓN

• Excitación primaria	La acción que arranca el sonido (puntear, soplar, golpear).
• Elemento excitado	La pieza concreta que vibra y mantiene la nota (cuerda, columna de aire, membrana, pliegues vocales).
• Resonador	La parte del instrumento que amplifica y colorea la vibración (caja de la guitarra, tapa del piano).
• Frecuencia fundamental	La frecuencia más baja del patrón vibratorio, asociada a la altura percibida. Se mide en hercios (Hz).
• Armónicos	Frecuencias múltiplos enteros de la fundamental que acompañan a casi cualquier nota natural.
• Espectro	La mezcla concreta de armónicos que componen un sonido, junto con la intensidad relativa de cada uno.
• Altura	Cualidad que nos hace percibir un sonido como más grave o más agudo.
• Sonoridad	Intensidad percibida de un sonido (no es exactamente la intensidad física).
• Timbre	El «color» del sonido; lo que nos permite distinguir instrumentos y voces.
• Tono	Sonido con una altura definida que el oído puede etiquetar.
• Tono musical	Tono que aparece en un contexto musical.
• Ruido	Sonido sin altura definida clara.

● Onda sonora	Propagación de variaciones de presión a través de un medio (aire, agua, sólido).
● Energía elástica	Tipo de energía asociada a la compresión y expansión de un medio.
● Reflexión	Rebote de una onda al chocar con un obstáculo.
● Absorción	Pérdida de energía sonora cuando una onda es «tragada» por un material.
● Reverberación	Persistencia del sonido en un espacio después de que la fuente original se ha callado.
● Tímpano	Membrana del oído que convierte ondas de presión en movimiento mecánico.
● Cóclea	Estructura en forma de caracol del oído interno donde se separan las frecuencias.
● Membrana basilar	Estructura interna de la cóclea sobre la que se distribuyen las frecuencias del sonido.
● Tonotopía	Organización espacial de la cóclea por la que cada frecuencia activa una zona concreta.
● Células ciliadas	Receptores de la cóclea que convierten el movimiento mecánico en impulsos nerviosos.
● Transducción	Conversión de un tipo de señal en otro (en el oído, de movimiento mecánico a impulso nervioso eléctrico).

● Psicoacústica	Rama de la psicofísica que estudia el vínculo entre estímulos sonoros y sensaciones auditivas.
● DAP	Diferencia apenas perceptible. Cambio mínimo en una magnitud física que un oyente típico es capaz de notar.
● Oído absoluto	Capacidad de identificar la altura concreta de un sonido sin referencias externas.
● Sistema límbico	Red de regiones cerebrales implicadas en la emoción y la motivación. Activo cuando una canción nos toca emocionalmente.
● Córtex auditivo primario	Primera zona del córtex cerebral que procesa la información sonora; recibe la señal del tálamo.
● Córtex motor	Zona encargada de planificar y ejecutar movimientos voluntarios; muy activa al tocar un instrumento.
● Área de Broca	Zona del hemisferio izquierdo asociada al procesamiento sintáctico del lenguaje y también de la sintaxis musical.
● Planum temporale	Zona auditiva especializada en el procesamiento del timbre y, en músicos entrenados, también del tono.
● Pan-cerebralidad	Propiedad de la música por la que activa simultáneamente muchas redes del cerebro entero.
● Plasticidad cerebral	Capacidad del cerebro de cambiar su estructura en respuesta a la experiencia. La práctica musical es ejemplo claro.

• Nucleus accumbens	Centro del sistema de recompensa cerebral. Se activa al escuchar música igual que con comida, sexo o drogas (Menon-Levitin, 2005).
• Práctica deliberada	Práctica sistemática enfocada en mejorar aspectos específicos, con feedback constante. Regla de las 10.000 horas (Ericsson).
• Efecto Mozart	Mito popular según el cual escuchar Mozart vuelve más inteligente. Las réplicas serias no lo confirmaron.
• Amusia	Alteración real en el procesamiento de la música. Prevalencia ~4% de la población.

