

Conexiones humanísticas

Por Carlos Suárez Nieto

Música atonal. ¿Por qué no le gusta a los sistemas auditivo y de recompensa?

La historia de la música en el siglo XX se ha caracterizado por el ~~se~~ elevado número de estilos musicales que se han sucedido, como también ha sido la norma en otras artes, lo que se debe a la creatividad y experimentación de numerosos autores, pero también a la influencia determinante de factores sociales y, sobre todo, políticos. Entre todos esos estilos, el más duradero, influyente y polémico ha sido la atonalidad en sus distintas variantes que, a su vez, alejó al gran público de las salas de conciertos y estableció una brecha de desinterés entre el oyente y la música contemporánea. Desde luego, la frialdad, la complejidad y la práctica imposibilidad de recordar fragmentos de esas composiciones ajenas a la tradición tuvieron un papel importante, pero lo que además pretendo mostrar, basándome en autores que han estudiado este asunto, es la escasa adecuación de dicha música para la estructura del sistema auditivo y los fundamentos del fenómeno musical en los humanos.

Nociones básicas sobre música (1)

La armonía es la estructura sonora (varias notas sonando a la vez) sobre la que se interpreta la melodía (una sola nota sonando cada vez). La armonía requiere además que exista una relación entre esas notas. Si se tocan a la vez tres o más notas, a eso se le llama acorde (Fig. 1. A).

Una melodía es una sucesión de notas que suenan una después de la otra y que tienen un sentido estético común (Fig. 1. B). Para poder crear una melodía, combinamos tanto el ritmo (duración de las notas y silencios, velocidad y acentuación) como la altura de las notas (*do, re, mi...*). El ritmo es la organización temporal de los sonidos en la música, creando patrones de duración y acentuación que se repiten a lo largo del tiempo.

Existen 7 notas musicales, que unidas al *do* siguiente se denominan octava. La escala cromática está compuesta por 12 notas musicales, representadas en un piano por las teclas blancas y negras, que son: *do, do#* (sostenido), *re, re#, mi, fa, fa#, sol, sol#, la, la#* y *si* (Fig. 1. C).

Las notas musicales se separan unas de otras por tonos y semitonos. Como hemos visto, cada octava se divide en doce sonidos, conociéndose por el nombre de semitono la distancia o diferencia en frecuencia sonora entre uno

de estos sonidos. Un tono equivale a dos semitonos. Todas las teclas blancas del piano separadas por una tecla negra están a la distancia de un tono, mientras que la distancia entre una tecla negra y la blanca precedente o siguiente es de un semitono. Las que no tienen una tecla negra entre ellas están a un semitono de distancia (mi-fa, si-do) (Figs. 1. D; 1. E).

La disonancia es un acorde no consonante. Históricamente se ha considerado que los acordes de segunda (do+re, 2 semitonos; do+re bemol, 1 semitono), de séptima (do+si, 11 semitonos; do+si bemol, 10 semitonos) y de novena (por ejemplo, do a re de la siguiente octava, que en la novena mayor equivale a 14 semitonos y en la novena menor 13 semitonos) son disonantes y el resto consonantes. La evolución de la música ha ido acostumbrado el oído de las personas a diferentes intervalos y armonías, aceptándose más intervalos como consonantes, mientras que se utilizan los más disonantes para crear tensión.

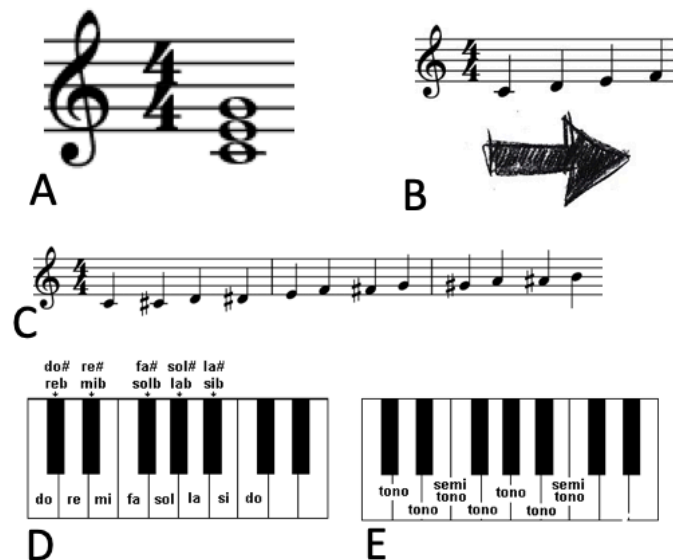


Fig. 1. A. Acorde de tres notas. B. Melodía. C. Escala cromática. D. Semitonos entre notas blancas y negras en una octava. E. Semitonos entre notas blancas en una octava

El ser humano musical y su relación con los sistemas vestibular, auditivo y de recompensa

En África nació el ser humano musical. Los africanos no separan el sonido de la canción y el baile. Además, para ellos la composición a nivel elemental, la interpretación y la audición son inseparables, actividades que se han escindido en occidente. Como resulta esperable, los niños de diferentes culturas tienen preferencia por los ritmos autóctonos entre los que han crecido, por encima de los de la cultura occidental, aunque la globalización cultural está eliminando las barreras. Esta vinculación a los ritmos locales comienza muy temprano en África debido a la costumbre materna de llevar a

los niños encima mientras andan a la vez que cantan, muy diferente a la de una buena parte de países, donde los niños son transportados en cochecito. Por otra parte, los polirritmos son más frecuentes en los niños africanos, que habitualmente son transportados por diferentes mujeres de forma alternativa, ya sea por la existencia de poligamia o por crianza compartida (2).

Los humanos tienen una capacidad única para coordinar sus movimientos motores con un estímulo auditivo externo, como el baile inducido por la música. Este vínculo es casi exclusivo de los humanos, a excepción de algunas aves canoras, siendo el impulso de moverse con la música tan irresistible como el de parpadear. Así, en niños de 6-24 meses se ha demostrado que participan más en movimientos rítmicos en presencia de música y otros sonidos rítmicamente regulares que cuando se les habla, incluso adaptándose hasta cierto punto al tempo musical (3). Por otra parte, mediante EEG se ha demostrado que escuchar música estimula las mismas neuronas espejo del cerebro que las asociadas con la actividad motora. Las neuronas espejo se activan tanto cuando realizamos una acción como cuando observamos a otra persona llevarla a cabo, siendo fundamentales para el aprendizaje por imitación.

Existe una base neurológica que explica los motivos por los que los sonidos evocan el movimiento. La conexión entre música y movimiento se debe al sistema vestibular, ya que el sentido del oído está muy vinculado con el sistema vestibular, responsable de mantener el equilibrio mientras andamos (Fig. 2. A). Así, escuchar música activa el córtex premotor y motor suplementario, los ganglios basales -formados por los núcleos caudado,

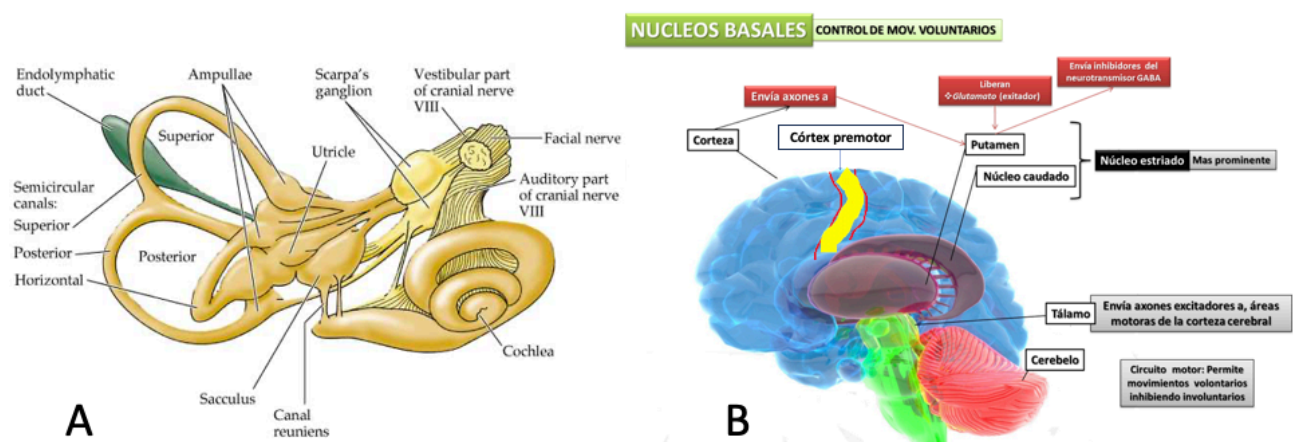


Fig. 2. A. Aparato vestibular y cóclea. B. Áreas motoras asociadas al movimiento

lenticular (putamen y globo pálido, separados por la cápsula interna), subtalámico y la sustancia negra- y el cerebelo, áreas motoras asociadas al movimiento, pero su contribución precisa varía según las exigencias de la tarea (Fig. 2. B).

La hipótesis de que el sistema vestibular es crucial para el ritmo musical, fue reelaborada en una serie de experimentos realizados inicialmente con lactantes, evidenciando que cuando rebotaban pasivamente en brazos del investigador al son de ritmos musicales, dicha acción influía en la percepción de la estructura rítmica (4). Se realizaron experimentos similares con adultos, donde se demostró que la forma en que los adultos mueven sus cuerpos al ritmo de la música influye en su percepción auditiva de la estructura del ritmo (5). Más aún, demostraron que para observar el efecto era necesario el movimiento de la cabeza y, por lo tanto, la activación del aparato vestibular (5, 6). Esto es de suma importancia, dado que no hace mucho tiempo se planteaba la cuestión de si existía una corteza vestibular, si bien ahora sabemos que el sistema vestibular central está constituido por una compleja red sensorio-motora que involucra extensas estructuras corticales y subcorticales. Las principales estructuras subcorticales, cranealmente a los núcleos vestibulares, son el tálamo, los ganglios basales y el cerebelo. Las proyecciones vestibulares hacia el tálamo son extensas y se cree que median al menos tres proyecciones ascendentes. Una podría estar involucrada en la función vestíbulo-somatosensorial y auditivo-motora, una segunda podría estar involucrada en la función motora vestíbulo-estriatal, y una tercera, en la función vestíbulo-visual y visual-motora. Una cuarta vía incluye proyecciones al cerebelo, los ganglios basales y las áreas motoras y premotoras. Estas proyecciones convergen colectivamente en las áreas receptoras de la corteza. Esta red, además de facilitar el procesamiento de las señales sensoriales vestibulares de aceleración lineal y rotación, también media las funciones cognitivas de la autopercepción del movimiento, la orientación espacial y gravitatoria, así como la conciencia de la situación de uno mismo en el espacio (7). La presencia de proyecciones vestibulares en el lóbulo temporal confirmó que las vías auditivas y vestibulares están mucho más entrelazadas de lo que se sospechaba hasta ahora, lo que es relevante para las influencias vestibulares en la percepción auditiva del ritmo.

Si bien el movimiento de una persona ante un patrón rítmico auditivo puede determinar si se percibe en compás doble, como una marcha, o en compás ternario, como un vals, lo mismo también se puede lograr mediante la estimulación galvánica directa del sistema vestibular sin realizar ningún

movimiento real. Estos resultados implican que el sistema vestibular desempeña un papel fundamental en la percepción del ritmo musical (8).

La percepción del ritmo y el pulso es un fenómeno sensoriomotor. Incluso cuando un oyente no se está moviendo, las áreas motoras del cerebro se activan junto a las áreas sensoriales. El vínculo entre la sincronización motora y la percepción del ritmo está bien establecido, correlacionándose estrechamente los componentes corticales y subcorticales de la red rítmica con los componentes homólogos de la red sensorio-motora vestibular. En distintos estudios sobre el sistema vestibular y su relación con el ritmo, se han identificado diez zonas que se activan: giro temporal superior, hipocampo, corteza vestibular insular parietal, corteza somatosensorial, corteza parietal posterior, ínsula anterior, corteza premotora, corteza motora cingulada y suplementaria, cerebelo y ganglios basales, con funciones específicas de cada una de estas formaciones en relación a diferentes aspectos del ritmo (7).

En resumen, cada área cerebral asociada con la percepción del ritmo tiene una estrecha correlación con la red vestibular sensorio-motora, de lo que se desprenden varios principios generales. El primero es que el aparato vestibular tiene un acceso privilegiado a toda la red a través de múltiples áreas del tálamo y de los ganglios basales o, de forma más directa, a los componentes subcorticales. En cambio, la cóclea tiene un acceso mucho más limitado a la red, principalmente a través de una estación en el lóbulo temporal y las subsiguientes conexiones cortico-corticales. Por lo tanto, es evidente que las aferencias vestibulares, ya sean acústicas, gravitacionales o inerciales, pueden influir significativamente en la interpretación rítmica de las auditivas. Algunas de estas áreas están estrechamente vinculadas al sistema límbico y, por lo tanto, probablemente median el vínculo entre el movimiento y la emoción (9), como veremos más adelante al hablar de la relación de la música con los sistemas de recompensa.

Hemos visto que la inducción del ritmo está mediada por la activación de los movimientos habituales originados en los mapas somatotópicos cerebrales. Una vez que estos se activan, existe una compulsión muy fuerte, casi refleja, para moverse. Tan pronto como se mueve la cabeza, o el sistema vestibular se activa acústicamente, las aferencias vestibulares proporcionan una señal de refuerzo adicional. El balanceo voluntario de la cabeza y otros movimientos corporales completos que involucran la cabeza son intrínsecamente gratificantes porque el sistema vestibular recibe estímulos del sistema límbico a través de vías corticales y subcorticales. Los núcleos vestibulares, además de proyectarse a las vías reflejas clásicas como la vestíbulo-ocular y vestíbulo-espinal, también se proyectan a nivel subcortical

al núcleo del tracto solitario (NTS) y al núcleo parabraquial (NPB) (Fig. 3). El NPB se proyecta al núcleo *accumbens*, a la amígdala y a la corteza infralímbica, participando en las vías dopaminérgicas, mientras que en el NTS, las aferencias vestibulares convergen con las viscerales vagales, proyectándose al hipotálamo. Así, podemos observar que, en conjunto, estas múltiples influencias del sistema vestibular sobre los sistemas límbico, autónomo y endocrino pueden mediar diversas respuestas afectivas al movimiento, tanto positivas como negativas. Los síntomas negativos incluyen el mareo por cinetosis, vértigo, vómitos y diversos trastornos de ansiedad. Entre las consecuencias positivas se encuentra la recompensa obtenida por la activación víscero-vestibular del movimiento corporal total. A baja intensidad, el movimiento puede ser relajante, como en el caso de las cunas y las mecedoras. A intensidades más moderadas, el efecto es más estimulante, como en las montañas rusas de los parques de atracciones y la práctica del “puenting”, entre otros. Sin embargo, si la intensidad de la estimulación es alta, el efecto se vuelve negativo, especialmente si existe una disparidad visual-vestibular, como en el caso del mareo (7).

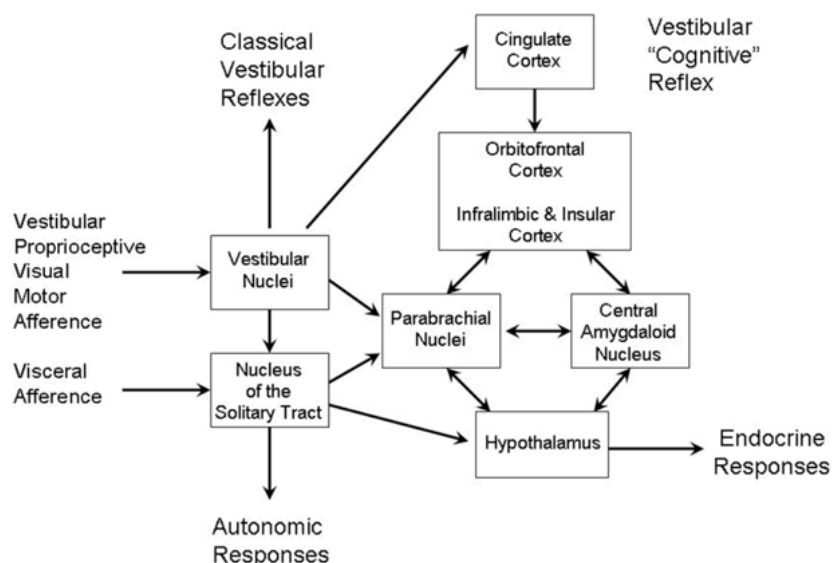


Fig. 3. Vías vestibulo-parabraquiales que median los reflejos vestibulares autonómicos [Tomado de Todd et al (7)]

Las teorías más aceptadas sobre la formación de hábitos apuntan a la idea de que los bucles paralelos de los ganglios basales no son independientes, sino que, de hecho, tienen conectividad entre ellos, lo que permite la transferencia de información (10) (Fig. 4). La conectividad entre el circuito límbico y el asociativo se realiza mediante conexiones del núcleo *accumbens* con las neuronas dopaminérgicas en las zonas prefrontales de la

substantia nigra. A su vez, la conectividad entre el circuito prefrontal y el circuito sensoriomotor se realiza mediante conexiones del núcleo caudado con las áreas motoras de la *substantia nigra* (7). Esto permite el desarrollo de un mecanismo de aprendizaje basado en recompensas para crear el hábito de un estímulo-respuesta sensoriomotor, lo que podría constituir la base del hábito de bailar. Una vez formado el hábito de bailar, al detectar una señal rítmica apropiada, se generan los planes motores necesarios para el movimiento, lo que producirá una recompensa anticipada al ejecutarlo. La información vestibular directa de un movimiento real (baile) también refuerza el "hábito de bailar". Este mecanismo explica, por lo tanto, la compulsión a moverse al ritmo de una señal rítmica. Por otra parte, se ha observado que los sonidos graves a gran volumen juegan un papel importante en la sincronización de la danza humana (11).

Fig. 4. Redes corticales a los ganglios basales que pueden mediar en la formación de hábitos de origen vestibular, como el baile [Tomado de Todd et al (7)]

Para el filósofo Charles Nussbaum (12) el cerebro sería un registro viviente de la historia evolutiva, en la que adquisiciones cognitivas recientes derivan de antiguas funciones de representación de las que no somos conscientes. Basado en esta hipótesis, explica la conexión entre escuchar música y andar. Para el ser humano, adaptado a la vida vertical y sometido a la gravedad, el andar implica un balanceo periódico (regular y repetitivo) desde y hacia el centro de estabilidad, que está informado y controlado por el sistema vestibular. Este regreso periódico a la estabilidad lo asocia Nussbaum a la espiral del espacio musical y a la manera en que una escala oscila entre grados de consonancia y disonancia (12). Así, el oído humano

sería una mezcla evolutiva de sistemas antiguos y modernos, los primeros orientados a la periodicidad y los segundos a la frecuencia.

En la semana 20^a del embarazo, el oído y las vías centrales ya están lo suficientemente formadas para que un ruido de 100 dB produzca en el feto pataleo y taquicardia. Como se ha dicho, desde el momento de nacer el bebé puede percibir un ritmo regular y moverse rudimentariamente al ritmo de la música, pero no puede llevar el compás hasta los cuatro años. También se calma cuando se le canta una nana, antes de entender sus palabras. La música clásica es mucho menos participativa que las canciones de trabajo y diversión, que estuvieron en el origen de la música, sin que esté entre los géneros favoritos de los niños. A esa edad recuerdan el contorno de subidas y bajadas de una melodía, pero no las notas exactas, ya que el contorno atraviesa los límites entre la música, lenguaje, movimiento y emoción (2). Por otra parte, ya sea por sus dificultades técnicas y porque se aleja de los valores de los jóvenes, la llamada música clásica cotiza a la baja, con una gran divergencia estilística, en general, respecto a la música popular, cuando, por ejemplo, hace dos siglos estaban mucho más próximas. A la vez, se consume más música grabada que en directo. Otro gallo cantaría si se diera un instrumento a los niños y tuvieran el apoyo de una orquesta juvenil local, de lo que es un ejemplo el sistema Abreu de orquestas juveniles e infantiles de Venezuela, del que han salido directores de orquesta tan reputados como Gustavo Dudamel, Diego Matheuz y varios otros.

Los contornos vocales exagerados con los que se habla a los niños menores de 2 años se escuchan por ellos como si fuera música, antes de la escisión entre esta y el lenguaje. Por otra parte, experimentos en niños occidentales han mostrado que a los 4 meses de edad se quedan mirando a una persona que toca sonidos consonantes, pero no a quien toca disonancias. Un elemento esencial es la equivalencia de octava, cuando se canta la misma melodía una octava más alta o más baja. Si se desentona levemente en una octava, se crea una interferencia acústica que suena muy mal al oído occidental, pero, por ejemplo, es agradable en Indonesia (2). Más aún, en Bulgaria los coros cantan a menudo en paralelo con un semitono de diferencia, siendo su música sorprendente en sus escalas modales (derivadas de tomar cada una de las 7 notas como centro tonal) y armonías disonantes (abundancia de intervalos de segunda, séptima y novena). En el mundo hay una gran diversidad de lenguajes musicales, existiendo en Occidente una fijación por los patrones rítmicos y formales simétricos. Las similitudes de la música universal radican en las escalas musicales, que tienen 5 y 7 notas (escalas pentatónica y diatónica), ya que existe un umbral cognitivo universal para el agrupamiento en unidades de no menos de cinco

y no más de siete (2). La música humana está adaptada a nuestros cuerpos y mentes. Así, el ritmo musical nació de nuestra experiencia de caminar sobre dos pies, ya que, al erguirse el simio primigenio, se puso en marcha un proceso evolutivo por el que se desarrolló la capacidad fonatoria de la laringe con el descenso de la misma desde la posición inicial retrovélica, aspecto sobre el que volveremos más adelante.

El “entrainment” es el proceso por el que la gente alinea sus conductas rítmicas y cíclicas con los demás. Michael Spitzer (2) se pregunta si sería posible que la música provocara que músicos y audiencia sincronizaran su frecuencia cardíaca y ritmo respiratorio, lo que efectivamente ocurre, de forma que la variabilidad de la frecuencia cardíaca se arracima al principio, al medio y al final, fluctuando en torno a los puntos nodales. Por otra parte, cuando la música se desacelera y suena muy baja toda la sala contiene la respiración (2).

Las vías de procesamiento auditivo desde la corteza auditiva primaria incluyen fascículos ventrales y dorsales, siendo los dorsales, que se proyectan a las cortezas parietal y premotora, especialmente relevantes. Los sistemas motor y auditivo interactúan mediante acciones de pre y retroalimentación que pueden estar relacionadas con análogos al sistema de neuronas espejo. Los estudios de neuroimagen muestran que los sistemas auditivo y motor del cerebro a menudo se coactivan durante la percepción y la interpretación musical. Así, escuchar solo activa el sistema motor, mientras que interpretar activa el sistema auditivo (13).

Estas áreas superiores de asociación auditiva permiten tareas como la discriminación de sonidos complejos, la apreciación musical y, fundamentalmente, la comprensión del lenguaje hablado. El área de Wernicke, localizada en la unión ténporo-parietal del hemisferio izquierdo, es esencial para la comprensión del habla. Las señales de la corteza auditiva primaria se proyectan a esta área para decodificar los sonidos en palabras y frases con significado. Además, existe una conexión entre el área de Wernicke y el área de Broca (ubicada en el lóbulo frontal, importante para la producción del habla), crucial para la comunicación verbal (Fig. 5).

Si descendemos en la escala filogenética, vemos que los peces detectan el movimiento de otros peces en el agua a través de las células ciliadas de la línea lateral, percibiéndolos de forma táctil en lugar de oírlos (Fig. 6. A). Aunque el oído humano no surgió de la línea lateral sino de las branquias y la placoda ótica, el órgano de Corti es una versión diminuta y muy superior a la línea lateral de los peces. Si desenrollamos la cóclea las células ciliadas más pequeñas (situadas en la espira basal), que se estimulan al oír los sonidos agudos, estarían más cerca del tronco del encéfalo, mientras que

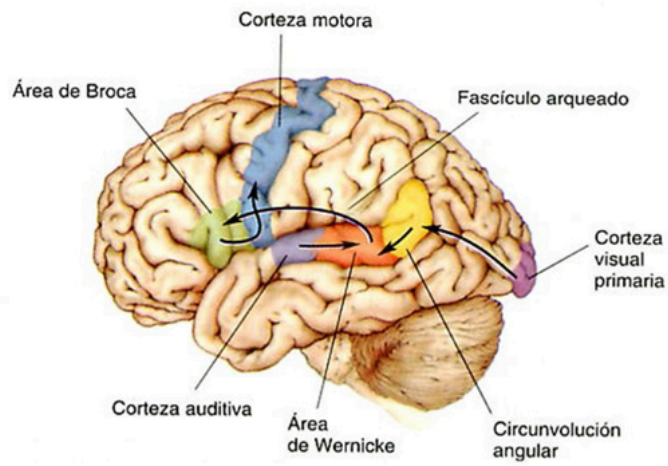


Fig. 5. Áreas de asociación auditiva

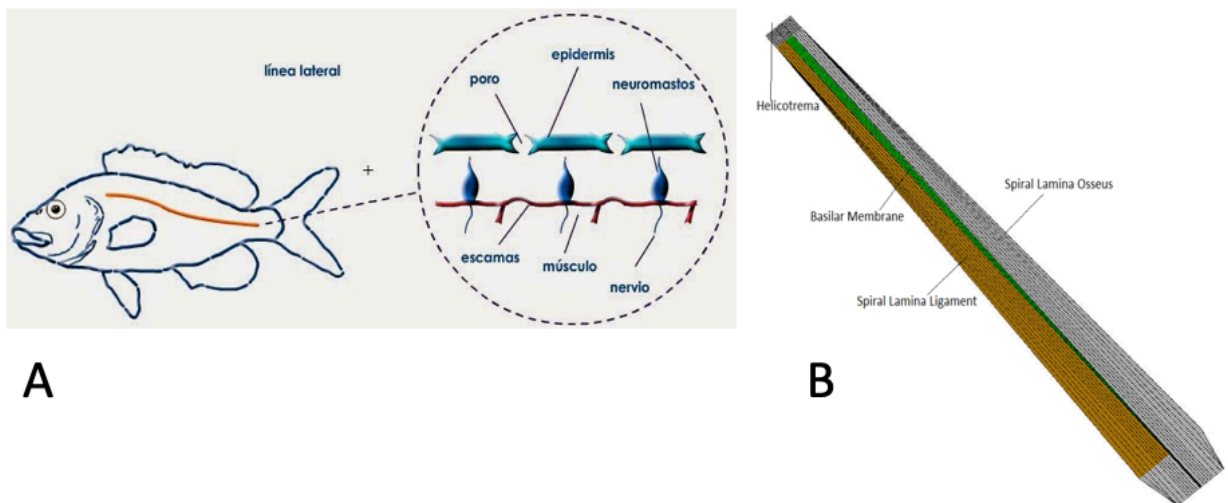


Fig. 6. A. Línea lateral de los peces. B. Cóclea desenrollada (en verde membrana basilar)

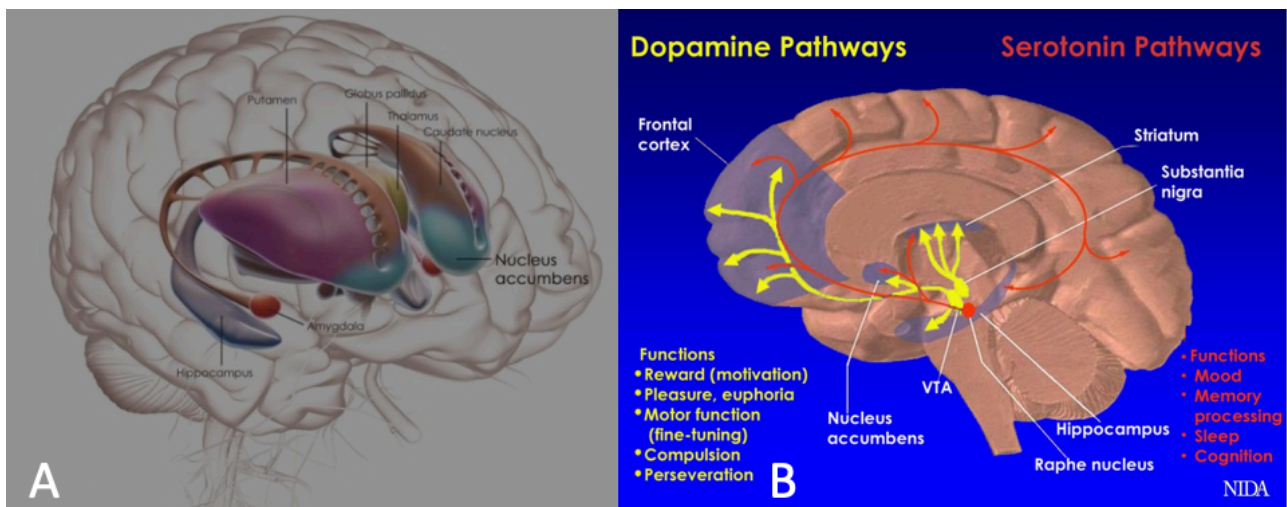


Fig. 7. A. Cuerpo estriado y sistema límbico. B. Sistema dopaminérgico (en amarillo)

las más grandes estarían alejadas de él en la espira apical (Fig. 6. B). La evolución ha invertido la línea lateral desde un eje horizontal hasta el eje vertical del oído humano. Sería como poner de pie el teclado de un piano y que los sonidos ascendieran en lugar de moverse horizontalmente (2).

A veces la música refleja el movimiento de un objeto por un paisaje (tomemos como ejemplo la obra de Ralph Vaughan Williams titulada “La ascensión de la alondra”), pero en otras ocasiones es el paisaje el que se mueve mientras estamos quietos, lo que ocurre cuando repasamos mentalmente una música muy conocida. Si estamos inmersos en la música, no como espectadores y, por ejemplo, escuchamos el frenético final de la “Suite de danzas del ballet Estancia” de Alberto Ginastera, nos sentiremos arrastrados y moveremos con la música. Esto sucede con la música para bailar, la que puede parecer bailable o bien tiene mucha energía cinética. En cambio, la música más abstracta o la que no posee sentido del movimiento (por ejemplo, la “Suite bergamasque” de Debussy o el canto gregoriano) produce el efecto contrario. Ahora es la música la que se mueve mientras uno permanece inmóvil, sintiéndose inundado por el sonido. La alondra se mueve porque el acompañamiento orquestal al violín que la representa es comparativamente lento. Con la música para bailar toda la orquesta se mueve al mismo tiempo (2).

Cuando oímos dos notas separadas, por ejemplo, por una octava, percibimos el fragmento como si fueran dos lugares distantes situados en el espacio musical. Si, en lugar de esto, las imaginamos como una única nota en movimiento ascendente, hemos cambiado el enfoque para centrarnos en el movimiento de la música. Esta octava ascendente transmite una sensación de anhelo, de modo que se desea pasar a la siguiente nota, que es anticipada en cierta medida por el oyente en la música consonante, pero no en la atonal. Primero disfrutamos de esa sensación anticipatoria cuando la melodía sube y luego, cuando alcanza ese punto, gozamos de una recompensa emocional. Las notas culminantes o más agudas de una melodía pueden producir una especie de escalofrío de placer con erizamiento del vello (2).

¿Qué tienen en común el movimiento y la emoción musical? La parte motora del cerebro y los sistemas de recompensa están unidos en el cuerpo estriado. La parte dorsal superior del cuerpo estriado es responsable de la acción y de la predicción y está constituido por el núcleo caudado y el núcleo lenticular. El cuerpo estriado ventral inferior está conectado con la parte más antigua y más emocional del cerebro, el sistema límbico, y forman parte de él el núcleo accumbens y el tubérculo olfatorio (Fig. 7. A). Por otra

parte, el sistema límbico está principalmente constituido por el hipotálamo, hipocampo, área tegmental ventral, amígdala y córtex prefrontal ventromedial. Robert Zatorre (14) y Valorie Salimpoor (15) han descrito un vínculo directo entre estas regiones cerebrales y los escalofríos musicales debidos a la liberación de dopamina, neurotransmisor que induce al placer. Mediante PET combinada con medidas psicofisiológicas de la actividad del sistema nervioso autónomo midieron la liberación de dopamina mientras se escuchaba música, observando la liberación endógena de la misma durante el pico de excitación emocional. Para examinar la evolución temporal de la liberación utilizaron RMN funcional con los mismos estímulos y oyentes, apreciando una disociación funcional, por la que cuando la música empieza a crear el clímax durante la fase de anticipación, la dopamina entra en tropel en el cuerpo estriado dorsal (núcleo caudado), mientras que cuando llega el clímax musical provoca una reacción emotiva en el cuerpo estriado ventral (Fig. 7. B). Cabe destacar que la anticipación de una recompensa abstracta puede resultar en la liberación de dopamina en una vía anatómica distinta a la asociada con el placer máximo en sí mismo. Además, Salimpoor et al (16) investigaron mediante RMN funcional los procesos neuronales que determinan el valor de la recompensa que proporciona la música la primera vez que se escucha. El mejor predictor de la cantidad de dinero que los oyentes primerizos estaban dispuestos a gastar en una hipotética subasta fue el grado de actividad en las regiones estriales mesolímbicas, especialmente el núcleo accumbens (Fig. 8). Cabe destacar que las cortezas auditivas, la amígdala y las regiones prefrontales ventromediales mostraron una mayor actividad también, pero no predijeron el valor de la recompensa, a diferencia del aumento de la conectividad funcional de estas regiones con el núcleo accumbens. De esta forma, parece que las recompensas estéticas surgen de la interacción entre los circuitos de recompensa mesolímbicos y las redes corticales involucradas en el análisis y la valoración perceptual.

Por otra parte, en un experimento diseñado para demostrar que la dopamina está relacionada con el placer que proporciona la música, se administró levodopa (precursor de la dopamina), risperidona (antagonista de la dopamina) y un placebo a un grupo de personas de forma aleatorizada. El resultado fue que la levodopa y la risperidona produjeron efectos opuestos en las mediciones del placer musical, aumentándolas la primera y rebajándolas la segunda (17).

Sin embargo, aproximadamente un 5% de la población son anhedónicos musicales, personas que no conectan en absoluto con la música y que, a pesar de tener una audición normal y la capacidad de disfrutar de otras experiencias o estímulos, no lo hacen con la música. Así, Mas-Herrero et al (18) identificaron a un grupo de individuos que mostraron niveles reducidos

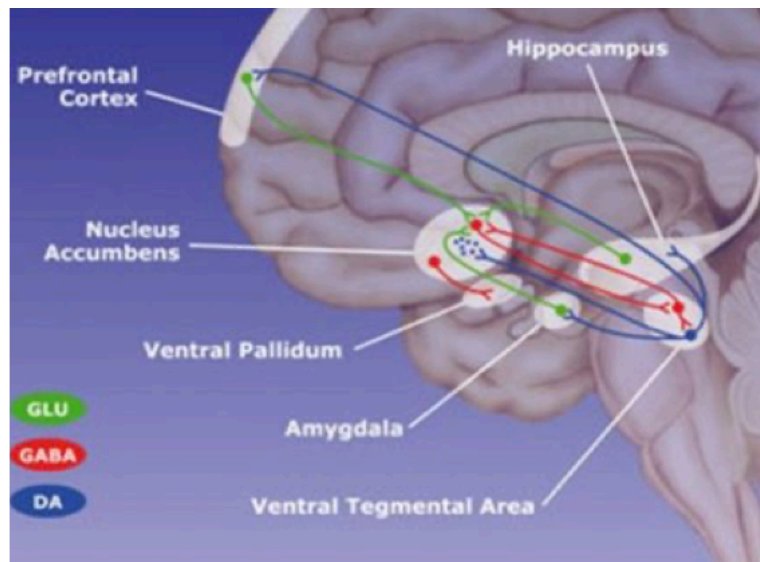


Fig. 8. Conexiones del núcleo accumbens con el sistema límbico
 GLU: Glutamato. GABA: Ácido gamma-aminobutírico. DA: Dopamina

de placer conductual y ausencia de respuestas autonómicas a la música placentera, a pesar de tener capacidades de percepción musical normales. Estas personas mostraron respuestas conductuales y fisiológicas preservadas ante la expectativa de una recompensa monetaria, lo que indica que la baja sensibilidad a la música no se debió a una hipofunción global de la red de recompensa, sino a la existencia de anhedonia musical específica.

Para dilucidar las causas, Martínez Molina y colaboradores (19) aplicaron el Cuestionario de Recompensa Musical de Barcelona a un grupo de individuos, que fueron clasificados según su puntuación como anhedónicos, hedonistas e hiperhedonistas musicales. A continuación, se les sometió a una RMN funcional, que demostró que los participantes con anhedonia musical mostraban una reducción selectiva de la actividad musical en el núcleo *accumbens*, pero niveles de activación normales para una tarea de apuestas monetarias. Además, este grupo también mostró una disminución de la conectividad funcional entre la corteza auditiva derecha y el estriado ventral (incluido el núcleo *accumbens*) (19). Todo esto sugiere que las experiencias de recompensa dependen tanto del funcionamiento general del sistema de recompensa como de las interacciones específicas de la red perceptual-recompensa. Los estímulos placenteros tienen distintas vías de entrada en el cerebro y distintos circuitos, pero al final todos convergen en el núcleo *accumbens*, por lo que puede presumirse una alteración del circuito vector de un estímulo placentero específico (20).

¿Cuáles son las causas subyacentes del anhedonismo musical? A fin de esclarecerlo, recientemente Bignardi et al (21) recopilaron datos sobre diversas facetas de la sensibilidad a la recompensa musical, medidas mediante el Cuestionario de Recompensa Musical de Barcelona, así como sobre las habilidades perceptivas musicales y la sensibilidad general a la recompensa, a partir de 2.305 parejas de gemelos suecos. Los resultados del estudio concluyeron que los efectos genéticos contribuyen hasta en un 54% a la variabilidad en la sensibilidad a la recompensa musical, siendo el 70% de estos efectos independientes de las habilidades perceptivas musicales y la sensibilidad general a la recompensa. Además, se observó que las influencias genéticas y ambientales en las diferentes facetas de la sensibilidad a la recompensa musical son en parte distintas, lo que revela vías dispares para el disfrute musical y patrones heterogéneos de asociación genética con las habilidades de percepción musical evaluadas. Por ello, se están realizando estudios de genes específicos para profundizar en el conocimiento de la variabilidad individual de la emoción musical.

Características de la música consonante

La música occidental tiene unas normas de composición que en siglos pasados cambiaban lentamente, siendo polémicas y costosas las innovaciones. Así, por ejemplo, entre 1715-1720 hubo una disputa entre maestros de capilla españoles que involucró a la mayoría de ellos, debido a que Francisco Valls introducía en su “Missa scala aretina” una disonancia de segunda menor sobre la palabra miserere, lo que era inadmisibile para la mayoría de sus coetáneos (22).

Cuando escuchamos música, no solo percibimos notas sueltas, sino relaciones entre ellas. Algunas combinaciones de sonidos nos resultan agradables y estables, mientras que otras generan tensión. Pero, ¿qué determina que un sonido sea consonante o disonante? En parte, la acústica: ciertos intervalos producen vibraciones más armónicas y se sienten “suaves” al oído, como veremos más adelante. Sin embargo, la percepción de la consonancia también está influida por la cultura y la historia. Así, la ópera china en sus múltiples variantes tiene más de trece siglos de historia, siendo la más popular y prestigiosa entre ellas la ópera de Pekín, que surgió hace unos doscientos años. Pues bien, pese a ser un arte escénico que integra canto, teatro, artes marciales y acrobacias, en ella la música instrumental cumple un papel primordial. Por un lado, contiene música civil, con instrumentos de cuerda y viento que emiten sonidos dulces y cadenciosos y, por contraposición, música marcial ejecutada con instrumentos metálicos de percusión altamente ruidosos que generan sonidos muy agresivos para el oído occidental (23).

Leonard Meyer (24) demostró que la música está basada en patrones, unos naturales, como la expectativa de que una escala continúe en la misma dirección en que empezó, y otros aprendidos, como los estribillos de la música popular. Los compositores hacen equilibrios entre la novedad y la repetición de patrones conocidos (como la actual música pop “mainstream”) que, llevados a un extremo, hacen que el oyente se pierda o aburra. La emoción se induce cuando un patrón se interrumpe o se subvierte. Es como un susto o sobresalto ante lo imprevisto. Pero la emoción también surge cuando se ha cumplido un patrón esperado (24).

La emoción es más intensa cuando nuestra valoración de algo pasa de negativa a positiva, por tanto, es proporcional al contraste. A esto se llama valencia contrastiva. La mayor tormenta emocional ocurre cuando hay una mezcla de sorpresa, valencia contrastiva, anticipación melódica y clímax. La anticipación solo es posible porque los humanos entienden los intervalos regulares del tiempo, que Patel (25) ha relacionado con la evolución del andar. La percepción del ritmo es una función cerebral compleja que implica una comunicación temporal precisa entre las regiones auditivas y las regiones de planificación motora de la corteza. La simulación del movimiento periódico en las regiones de planificación motora proporciona una señal neuronal que ayuda al sistema auditivo a predecir la sincronización de los próximos ritmos. Esta hipótesis de simulación de acción para la predicción auditiva, conduce a predicciones comprobables, ya que se basa en conexiones de la vía auditiva dorsal entre las regiones auditivas y las regiones de planificación motora a través de la corteza parietal, estando reforzadas por la evolución del aprendizaje vocal. El andar puede haber enseñado al cerebro su sentido del tiempo y el tiempo es la simulación interna cerebral del movimiento periódico de los pasos (un paso cada 100 milésimas de segundo). Esta teoría engloba la música, la emoción, la anticipación y el andar (25).

Por otra parte, la tonalidad define el carácter emocional de una pieza musical, de manera que las tonalidades mayores (por ejemplo, en do mayor) suelen asociarse a la alegría y energía, mientras que las menores (por ejemplo, en la menor) se vinculan a la tristeza y melancolía. La música alegre es más simple y más convencional, recreándose en la simetría y la repetición, con unos patrones gradualmente ascendentes. Aquella que es bailable presenta otro aspecto importante, que es el carácter participativo, fomentando un bucle de retroalimentación: la alegría te da ganas de bailar y bailar te pone más alegre. Esto ocurre más a menudo en la música popular, pero también en la clásica.

La música puede resultar tan envolvente como un medio líquido en el que estuviéramos sumergidos. La percepción musical, particularmente cuando las vibraciones a gran volumen de sonidos graves impactan sobre nuestro cuerpo, tiene una cualidad de roce directo que Nussbaum atribuye a una reminiscencia de la línea lateral de los peces, de forma que la sensación oceánica que produce estar inmerso en la música es un recuerdo evolutivo (12). Como la música y la religión surgieron aproximadamente al mismo tiempo, un tono musical comunica un cierto sentido de lo sobrenatural, ya que la música ha acompañado desde el origen de los tiempos los rituales religiosos. Intensificar la velocidad, el volumen o la complejidad puede llevar a estados de consciencia alterados que inducen el éxtasis religioso (2). La sobrecarga sensorial consecuente puede crear un estado crepuscular parecido al trance. Los pinchadiscos o disc jockeys (DJ) pueden subir la frecuencia cardíaca de los oyentes a más de 140 pulsaciones, induciendo un estado alterado de la consciencia. La música tecno se ha correlacionado con otros efectos como el aumento de la presión arterial, de los niveles de neurotransmisores y péptidos, así como reacciones hormonales. El baile prolongado genera hiperventilación e hipoglucemia, lo que conduce a alucinaciones (2). Todos estos efectos se han visto en religiones extáticas, desde las iglesias pentecostales del sur de EE UU hasta los derviches, o los sufíes pakistaníes con la música qawwali, cuyo máximo exponente fue Nusrah Fateh Ali Khan.

Características de la música atonal y de sus principales compositores

A principios del siglo XX las vanguardias artísticas se rebelaron contra una cultura burguesa que consideraban arcaica y acartonada y, en contra del culto a la belleza, creían que el arte debía volverse negativo y crítico. Arnold Schoenberg escribió: si es arte, no es arte para todos, y si es arte para todos, no es arte. Concepción elitista que consideraba que su música era para minorías y el éxito de público el mayor de los fracasos. Thomas Mann se inspiró para su novela Doctor Faustus en Schoenberg y su música extraordinariamente difícil, obra en la que plantea de forma directa: ¿qué se hizo mal? (26).

A comienzos del siglo XXI la música de Schoenberg ya no suena tan extraña, ya que ha fertilizado tierras distantes encontrando destinos como el rock, el jazz bebop y el free jazz (solo los patrones rítmicos enmascaran algo el producto), así como las bandas sonoras de numerosas películas, sobre todo de terror. Como afirmaba el gran compositor Leos Janacek, la historia de la música es un proceso de adaptación del hombre a la disonancia.

Schoenberg no fue el primero en componer música atonal, música que queda fuera del sistema de las tonalidades mayores y menores. El primero

fue Ferenc Liszt que, a primeros de 1880, compuso algunas obras en las que las tríadas, componentes básicos de tres notas de la música occidental, tienden a desaparecer, mientras proliferan los acordes aumentados y está presente el perturbador tritono (26).

Claude Debussy dejó que acordes normales cayeran unos sobre otros, desafiando las reglas existentes, a la vez que se asomó a la escala de tonos enteros, ya en el umbral de la atonalidad. La escala de tonos enteros consta de seis tonos idénticos sucesivos; si se asciende desde cualquier do en un piano, está formada por tres teclas blancas seguidas de tres negras y abunda en tritonos, lo que genera una música brillante y brumosa. El tritono es un intervalo musical que consta de tres tonos completos, lo que equivale a seis semitonos, caracterizándose por un sonido disonante y tenso que es percibido como inestable y desagradable. Esta cualidad sonora se consideró inquietante y se asoció con lo maligno en la música medieval, prohibiéndose en la música sacra (27). También se valió de escalas pentatónicas, con y sin semitonos, que se encuentran en la tradición de todo el mundo desde África a Indonesia y más recientemente han pasado a utilizarse en géneros musicales tales como gospel, blues, jazz y rock. Los niveles de disonancia aumentaron a partir de Liszt, siendo Richard Strauss, Max Reger, Alexander Scriabin, los futuristas italianos, Charles Ives, Ferruccio Busoni, además de Debussy, algunos de los más destacados en cultivarlas.

A Mahler la música de Schoenberg le fascinaba y exasperaba a la vez, pero aplaudía sus obras más controvertidas. A Strauss al principio también le agradaba, pero poco después se posicionó en contra de ella. Hay que decir que, antes de iniciar su andadura atonal, Schoenberg había producido obras postrománticas del calibre de “La noche transfigurada” y los “Gurrelieder”. En 1909 compuso “Tres piezas para piano”, “Cinco piezas para orquesta” y “Erwartung” (en español Espera, ópera en un acto con solo una cantante). En la última de las piezas para piano el teclado se convierte en un instrumento de percusión, mientras que en la primera de las orquestales las voces instrumentales se disuelven en texturas y colores: figuras rápidas y agitadas unidas a trinos. “Erwartung” tiene acordes terroríficos de 8-10 notas que saturan los sentidos. En un pasaje la voz cae en picado casi dos octavas (26).

La atonalidad estaba destinada a irritar al público convencional, pero Schoenberg no supo defenderla con coherencia y persuasión. Aunque en privado realzaba su dimensión irracional, fruto del impacto de sus grandes turbulencias personales en el subconsciente, en público la explicaba como el resultado lógico de un proceso histórico.

Schoenberg fue el único que insistió en que no había vuelta atrás, al afirmar que la tonalidad había muerto. Sin embargo, la multiplicidad de sus explicaciones para pasar de la consonancia a la disonancia pone de relieve la arbitrariedad de sus cambiantes argumentos. No hubo ninguna corriente irreversible de la historia de la música que provocara la aparición de la atonalidad, sino que se trató del salto hacia áreas ignotas de un solo hombre (26).

Así como Wagner y luego los nazis decían que la raza aria estaba degenerando al mezclarse con otros pueblos, Schoenberg aplicó el concepto de degeneración a la música. Paradójicamente los nazis encasillarían después como “Entarteten Musik” (música degenerada) a la producida por compositores judíos, comunistas, o simplemente desafectos al régimen. La atonalidad y otras tendencias modernistas fueron decretadas inicialmente música degenerada por ser producto del espíritu judío, pero una comisión encabezada por Richard Strauss revocó la prohibición. El resultado fue que la música atonal se toleraba en ocasiones siempre que el autor fuera adicto al nazismo, como Zillig y von Klenau, discípulos de Schoenberg. Igualmente, Webern, que pasó de ser socialista a ferviente nazi.

Los primeros discípulos de Schoenberg fueron Anton Webern y Alban Berg, con los que formó un grupo conocido como la Segunda Escuela de Viena, en contraposición a la primera escuela de música consonante vienesa que idealmente habría estado formada por Haydn, Mozart y Beethoven (Fig. 9).



Fig. 9. Segunda Escuela de Viena. A la izquierda Arnold Schoenberg, el primero por la derecha Alban Berg y el segundo Anton Webern

La primera obra de Webern, “Seis piezas op. 6”, es de una crudeza atonal perturbadora, con una secuencia apabullante de acordes de 9 y 10 notas, tras la que la percusión va in crescendo. Esta parte se halla entre los fenómenos musicales más fuertes en intensidad sonora de la historia. Como apunta Alex Ross, la edad del ruido había comenzado (26). A Berg se le etiquetaría pronto como el más asequible de la escuela. En él había dos caras, una que suspiraba por los sonidos amables y por otro lado una tendencia matemática que le llevaba a buscar la complejidad por la complejidad.

En 1923 Schoenberg sistematizó el método de composición dodecafónico (así denominado por Leibowitz), ya que doce es el número de semitonos necesarios para pasar del do central de un piano al siguiente do por encima o por debajo, que integran lo que se llama escala cromática, en la que renuncia a toda jerarquía entre las notas de la misma, a las que concede la misma dignidad armónica (28). Totalmente insertada en este método es la obra cumbre de Schoenberg, la ópera “Moisés y Aaron”, que compuso entre 1930 y 1932. La escala cromática había sido utilizada de forma progresiva desde finales del siglo XIX para crear atmósferas inquietantes, como en la “Sinfonía Fausto” de Liszt, o en determinadas partes de las óperas “Salomé” y “Elektra” de Strauss. Una ordenación determinada de las doce notas recibe el nombre de serie. Además, cada serie se puede recorrer en retrogradación hacia atrás desde la última nota, o se puede hacer una inversión (por así decirlo, ponerla boca abajo) (Fig. 10). Para ello si la serie original comienza ascendiendo tres semitonos y descendiendo dos, la serie



Fig. 10. De arriba abajo: serie dodecafónica original, serie retrogradada, serie invertida y serie retrogradada invertida

retrógrada concluirá con ese mismo modelo al revés, mientras que la serie invertida comienza descendiendo tres semitonos y ascendiendo dos. La inversión retrograda procede de atrás adelante y boca abajo. También se puede transportar la serie, haciéndola ascender o descender por la escala (29, 30). En total, la escala cromática contiene un número enorme de permutaciones, más de 479 millones (26, 28).

Entre tanto ocurrió que los elementos tonales a los que Schoenberg había renunciado antes, aparecían de vez en cuando, ya que el sistema no impide nunca el empleo de materiales tonales; incluso, puede ser manipulado para evitar producirlos.

Este tipo de escritura se fue difundiendo fuera del núcleo inicial, de forma que a comienzos de los años treinta jóvenes compositores empezaron a sentir atracción por ella, como Luigi Dallapiccola en Italia, Roberto Gerhard en España y Milton Babbitt en EE UU. Sin embargo, hubo quienes inicialmente abrazaron la atonalidad y luego la dejaron por música más apegada a la moda, como Ernst Krenek (aunque fue un viaje de ida y vuelta) y Hans Eisler, pero sobre todo Kurt Weill; Eisler por cuestiones ideológicas y el último estéticas.

Pese a que la música dodecafónica no gozó del favor del público, de lo que Schoenberg se enorgullecía, pues según manifestó prefería componer como un intelectual que como un imbecil, Berg alcanzó en vida un gran éxito con “Wozzeck” y después de muerto con “Lulú”. Theodor Adorno cuenta que Schoenberg envidiaba los éxitos de Berg y Berg los fracasos de Schoenberg. El éxito de Berg se debió a un uso trucado del método dodecafónico, de forma que la disposición de las series asegura en cierto modo un resurgimiento de la armonía en la línea de Mahler y Strauss, ya que debido a la rápida rotación de notas ningún acorde puede permanecer en su sitio mucho tiempo. De esta forma, la composición dodecafónica le dio a Berg lo mejor de ambos mundos, permitiéndole un doble juego (26).

Si bien en la Rusia postrevolucionaria las vanguardias artísticas tuvieron un amplio desarrollo durante el período de 1917-1929, en que Lunacharsky estuvo al frente del Comisariado de la Ilustración, cuando Stalin asumió plenos poderes a partir de 1929 existió una cierta tolerancia con las tendencias artísticas modernistas moderadas, que a mediados de los años treinta desapareció al establecerse brutalmente la prohibición de la música formalista, mientras se obligaba a componer siguiendo las directrices del realismo socialista, so pena de la muerte profesional.

La ocupación militar de Alemania por EE UU se gestionó por la Oficina del Gobierno Militar de Estados Unidos (OMGUS). A través de ella se propuso que uno de los sistemas de desnazificar Alemania fuera mediante el cambio

de sus paradigmas musicales. Para ello se escogieron compositores que no hubieran sido nazis ni comunistas. La ciudad de Darmstadt fue escenario de otro experimento de música moderna financiado por los americanos, en forma de cursos de verano para iniciar a jóvenes compositores en la música prohibida por los nazis. Estos cursos solo incluían la música contemporánea más avanzada, en los que Schoenberg ocupaba un lugar predominante, contando con René Leibowitz como principal agitador musical. La sede de los cursos se ubicaba en el Kranichsteiner Musikinstitut, dentro del castillo de Kranichstein. Aunque algunos responsables políticos mostraron disconformidad con esta parcialidad, los cursos siguientes mantuvieron la misma tónica, centrados en compositores franceses igualmente radicales, como Olivier Messiaen y Pierre Boulez. Pese a ello, en todo el país se perpetuó un grupo clásico tradicional que eludió la desnazificación escuchando la música de siempre y, por otro, un grupo vanguardista que se oponía firmemente a la estética anterior a pesar de la falta absoluta de audiencia. El lenguaje de la música moderna se reinventó sobre la base del dodecafonismo de Schoenberg, que dio paso al serialismo total y éste a la música aleatoria. Siguiendo los pasos de la OMGUS, la CIA financió festivales de música extremadamente compleja. La guerra fría contribuyó a patrocinar una música en las antípodas de la de la URSS, regida por los principios del realismo socialista, que exigía que la música reflejara la lucha y el triunfo del proletariado mediante melodías fácilmente comprensibles de carácter épico y patriótico. Así, la estética dominante de la música europea y norteamericana eran la disonancia, dificultad y complejidad. Theodor Adorno fue el máximo exponente intelectual en degradar la música que consideraba retrógrada y en señalar que el único camino era el que había emprendido Schoenberg que, por otra parte, carecía de cualquier connotación de totalitarismo tanto de derecha como de izquierda.

La primera obra de la nueva vanguardia, antes incluso de que se formalizara, fue el Cuarteto para el fin de los tiempos de Messiaen, escrito y estrenado en 1941 mientras estaba preso en un campo de concentración nazi, seguido en la postguerra por su efímero discípulo Boulez, mucho más radical e intransigente (Fig. 11). Aunque antes de la guerra a Messiaen la música de la escuela de Viena, con la salvedad de Berg, no le inspiraba gran simpatía, despertaba la curiosidad de sus alumnos hacia ella y estimulaba el gusto por la investigación del mundo sonoro (28).

En el serialismo integral, además de la altura (la escala cromática del dodecafonismo), el principio serial rige también los restantes parámetros musicales. Así, se aplica el principio serial también al ritmo de las notas; es decir, además de tocar las notas de la escala cromática en cierto orden, se añade a cada una de las doce una duración distinta. Otras obras incluyen el



Fig. 11. Olivier Messiaen

parámetro de la dinámica, es decir, a cada una de las doce notas se añade una intensidad sonora diferente (*pianissimo*, *forte*, etc.) y, en ciertos casos, el de timbre, con un tipo de sonido distinto para cada nota. De esta forma, la primera sería tocada por un violín, la segunda por un piano, etc. También se puede incluir el ataque, que es el tiempo que un sonido tarda en pasar de cero a su nivel máximo de intensidad (26, 28).

Si bien a Boulez le parecía en teoría contradictorio el radicalismo del método serial dodecafónico, que llegaba a la atonalidad aplicándolo solo a la melodía y a la armonía, mientras dejaba el ritmo, la estructura, la instrumentación y la forma intactas, fue Messiaen en el estudio para piano “Modo de valores y de intensidades” quien, de facto, puso los fundamentos del serialismo integral y, dado su interés por la variedad rítmica, colocó las duraciones de las notas en una escala paralela a la escala de alturas, además de realizar series de niveles dinámicos y de ataques, coordinando todas las variables en un solo sistema. En él, el ritmo adquiere una autonomía que le ofrece las mismas posibilidades de desarrollo que los otros parámetros formales (28). Desde sus inicios totalmente atonales pronto puso en primer plano los sonidos grandiosos. Su fascinación por la música no occidental, sus nuevos procesos rítmicos y su interés por instrumentos electrónicos como las ondas Martenot, hacen de él un transfigurador de la tonalidad (26). Es mérito suyo haber combinado la tradición con la revolución, la extrema religiosidad con una sensualidad desbordante, así

como ganado el favor del público en un estilo que sin sus innovaciones sólo había suscitado indignación o indiferencia (28).

Boulez fue más lejos aún, organizando los parámetros considerados por Messiaen en conjuntos de doce, tal como marcaba la línea de estructura dodecafónica, de forma que cada tono no se repite hasta que han sonado las doce notas, mientras que la dinámica y los ataques varían de sección a sección. Estos procedimientos fueron empleados en 1950 y 1951 en “Polyphonie X” para orquesta y en “Structures 1” para dos pianos. El contenido emocional de esta música es escaso, ya que el principio serialista con sus parámetros musicales permanentemente cambiantes borra cualquier impresión sobre pasajes anteriores de la obra, abocándola a la transitoriedad del momento presente (26) (Fig. 12). La principal obra de Boulez de finales de los 50’ fue “Le marteau sans maître”, composición de serialismo integral en la que en parte soltaba amarras del corsé del sistema y adoptaba elementos más tradicionales de composición (28).



Fig. 12. Pierre Boulez

La primera generación de la postguerra no concebía que la música a esas alturas de la historia pudiera ser otra cosa que serial, sin considerarse revolucionarios sino el último grado en la evolución de la escritura polifónica, la técnica de un nuevo clasicismo (28). Para Roland de Candé (28), desde mediados los años 50’ los compositores se vanagloriaban más de su ciencia combinatoria que de su intuición artística, mientras que una especie de

terrorismo estético imponía la hegemonía de la música serial y todo aquel que quisiera ser respetado debía adherirse a ese partido único.

En el grado de complejidad alcanzada por la música serial en los años 50', la libertad de investigación está limitada por el principio serial, en el que lo que se sale de ese marco prefijado, es decir, lo excepcional, no existe ya. De esa forma, el sistema es totalitario, en el sentido de que engloba todos los componentes de la música, sin admitir diversidad. La reconquista de lo excepcional, por una superación del método serial, y la integración de elementos aleatorios potenciados por la composición electro-acústica sería el motor principal en la evolución de la música durante los años 60' y 70' (28). En la música aleatoria el azar es un elemento definitorio, donde el grado de aleatoriedad es una variable más de esa música. En muchas de las obras predomina la improvisación, con instrumentos clásicos y medios de ejecución electrónicos. El azar puede intervenir de diferentes maneras en la composición, ya sea por la iniciativa imprevisible de los ejecutantes, a la que dan pábulo sistemas de notación no convencionales. Otras veces se basa en las leyes estadísticas, a las que someten las combinaciones aleatorias de un gran número de factores (28).



Fig. 13. John Cage con un piano preparado

John Cage era un transgresor radical, autor de performances inusitadas. Sin embargo, en lugar de músico de vanguardia se definía como músico experimental, con una actitud más inclusiva y menos iconoclasta de la música anterior (Fig. 13). Fue discípulo de Schoenberg en Los Angeles, etapa en la que componía en un estilo dodecafónico peculiar. Como quiera que le gustaba mucho el ruido ideó instrumentos de percusión a partir de

componentes desechados de coches, a la vez que creó el piano preparado, en el que colocaba tuercas, trozos de madera o de papel sobre o entre las cuerdas para modificar su timbre. Después de esta etapa inicial se convirtió en seguidor de Boulez. Al principio su método compositivo consistía en desplazarse sobre una tabla de 64 sonidos que contenía notas, acordes, trinos, etc., para más adelante seguir las reglas de la práctica adivinatoria china del I Ching (Libro de los cambios), que utiliza operaciones al azar. El uso del azar (además Cage tomaría decisiones para componer basadas en tirar al aire monedas o dados, cartas astrales, números generados por ordenador, etc.) quedaba muy alejado de la tradición europea clásica (26). Su afición por los “happenings” sonoros hace que en muchas de sus obras no se pueda determinar si se trata de un dadaísta, un visionario o un mixtificador, cuyo ceremonial de excentricidades solo busca provocar el asombro o la hilaridad (28). Ello no quita para que tenga obras, como “In a landscape”, que parece flotar en el éter y transmite una sensación de paz infinita. No obstante, para otros musicólogos, Cage de alguna forma remueve las posiciones habituales que la música ha otorgado al sonido y a los silencios, lo que no sólo causa una revolución en la música, sino que hace plantearse otras cosas, como el evento mismo que es la ejecución y, con ello, la presencia de sonidos alterados que reclaman su esencia anárquica sometida al azar. Para Cage no se trata nunca del arte por el arte, sino del arte en relación a la vida, dualidad entre la que no hay barreras, actitud afín a corrientes filosóficas actuales, como el postestructuralismo (31).

En 1948 Pierre Schaeffer creó una obra electrónica, uno de cuyos movimientos consistía en resoplidos y silbidos de 6 locomotoras. Poco después utilizó la cinta magnética para realizar collages de sonido. En colaboración con Pierre Henry compuso un collage, “Sinfonía para un hombre solo”, al que bautizó como música concreta, en el que reproducía los fragmentos de cinta hacia atrás, los aceleraba, ralentizaba y convertía en bucles. Cage fue a París para conocer a Schaeffer, a raíz de lo cual incorporó este método a su técnica del I Ching, manipulando sonidos ambientales, electrónicos y de otro tipo, con lo que creó una atmósfera enloquecida, como se puede apreciar en “Radio music”, compuesta mediante la utilización de operaciones aleatorias con 8 receptores de radio, lo que hace que cualquier “interpretación” de la misma no se repita nunca. Todo ello motivó un rechazo total por parte de Boulez (26).

La música electroacústica sintetiza dos técnicas inicialmente distintas, como la música concreta y la música electrónica. La música concreta utiliza como material básico sonidos y ruidos considerados “concretos” porque son producidos no sólo por instrumentos, sino por sonidos de la naturaleza o del

entorno cotidiano. Primero son grabados y luego manipulados por el compositor. Por el contrario, la música electrónica utiliza sonidos artificiales producidos electrónicamente, que luego se manipulan. Los sonidos de la música electroacústica no se parecen a ninguno de los que forman el ambiente acústico natural, siendo una especie de ilustración sonora de un ensueño (28).

A lo largo de los años 50' se fueron creando estudios de música electrónica en Alemania, Italia y otros países. La consigna era la libertad total de creación, sin interferencias de los gustos del público o de los críticos, lo que resulta paradójico teniendo en cuenta que algunos de esos estilos anulaban la libertad de elección. El compositor y director de orquesta John Mauceri (32) critica amargamente que, pese a la libertad para ir hacia adelante no la había para ir hacia atrás, a la vez que se cancelaban compositores de gran resonancia anteriores al cambio de paradigma, casos de Kurt Weill, Paul Hindemith o Erich Wolfgang Korngold entre otros, mientras que la asistencia de público a la nueva música era irrelevante. A la vez, pone de relieve que el destino de los compositores durante la Segunda Guerra Mundial estuvo unido a propósitos políticos de sus gobiernos, lo que derivó en la desaparición de la música experimental en Alemania, Italia y Rusia, el éxodo de innumerables músicos a EE UU y la repentina recuperación de la música experimental como lingua franca de la música occidental durante la guerra fría. Los criterios estéticos enmascararon los fines políticos de los países involucrados en las dos grandes guerras, convirtiéndose la música en armamento al servicio de la ideología. La consecuencia fue que los compositores exiliados perdieron su lugar en la corriente principal, lo que pone de manifiesto la necesidad de rehabilitar a aquellos que fueron olvidados (32).

Karlheinz Stockhausen fue el indiscutible profeta de la nueva música serial y electrónica a partir de mediados los años 50' (Fig. 14). Antes había asistido a clases de Messiaen y colaborado con Boulez y Schaeffer. Su "Canto de los adolescentes" es una de las mejores piezas electrónicas nunca compuestas, hecha a partir de una canción de un niño deconstruida y remezclada alrededor de la cual ondula una masa de sonido electrónico. Otra obra sobresaliente es "Gruppen", en la que una orquesta se divide en tres grupos con un director propio cada uno, reproduciendo los fundamentos de la práctica electrónica, de forma que la obra parece improvisada a pesar de asentar sobre principios seriales. El clímax es un estallido de percusión y un muro de ruido para las tres orquestas, pero carente de tensión emocional (26). Estas dos obras pertenecen a la nueva música post-serial en las que Stockhausen utilizó una técnica de reinyección de sonidos reales en circuitos electro-acústicos, más interesantes que las nada atrayentes obras



Fig. 14. Karlheinz Stockhausen

anteriores (28). Por otra parte, en 1957 Stockhausen dio a luz el principio de las formas abiertas, según el cual el compositor delega en los intérpretes una parte de la responsabilidad de la creación. Esto no quiere decir que dé paso a la aleatoriedad, ya que los intérpretes tienen ante sí varias opciones, decantándose por un itinerario u otro (28). En Stockhausen hay una combinación de carisma y liderazgo, inagotable intelecto y gran determinación, con una enorme producción musical que fue de las más divisivas de la música contemporánea, cayendo a veces en la extravagancia, como happenings musicales o ciclos de obras para cada día de la semana (por ejemplo, las 7 óperas del Licht Cycle, con momentos ocasionales de notable grandiosidad, pero alguna de ellas irrepresentable), piezas para cada hora del día, o bien de otras que van desde el mantra musical a los pulsos alucinógenos (33).

Simultáneamente, Boulez se sumó a la música electroacústica, cuya obra cumbre sería "Repons", de mediados de los 80', utilizando las prodigiosas tecnologías puestas a su disposición como director del IRCAM de París desde 1977. En este Instituto, Tristan Murail y Gerard Grisey desarrollarían el espectralismo, que pone el énfasis en las propiedades acústicas del sonido, como sus frecuencias y características tímbricas, donde no solo importan las notas, sino la textura sonora. Los espectros sonoros se recrean por instrumentos convencionales afinados en cuartos de tono. Dos ejemplos

destacados de esta música son “Gondwana” de Murail y “Partiels” de Grisey.

Luigi Nono echó abajo las barreras creadas entre música de vanguardia y música política que a finales de los años 20’ habían separado a Schoenberg de Weill. Nono, casado con una hija de Schoenberg, estaba convencido de que los sonidos radicales podían vincularse a políticas radicales, lo que se plasmó en su más importante creación, “El canto suspendido”, cuyo texto son cartas de combatientes antifascistas condenados a muerte. Al igual que en el “Canto de los adolescentes”, las líneas vocales se degradan bajo el peso de la técnica serial (26). Otro italiano, Luciano Berio, se liberó pronto de las ataduras seriales, entregándose a una apropiación de la música tonal en forma de cita o collage en un contexto atonal, como su obra “Folk songs”, con deconstrucción de melodías de numerosos países.

Durante la guerra civil que siguió a la mundial, Iannis Xenakis se exilió de Grecia y en París fue discípulo de Messiaen y Schaeffer. Allí introdujo un método llamado música estocástica, en relación a la parte de las matemáticas (de las que tenía amplios conocimientos) que estudia la actividad irregular de las partículas. La introducción de las matemáticas y, sobre todo de las herramientas informáticas, no definen la inaccesibilidad de la música como puede pensarse, pues también cualquier música precedente estaba sometida a reglas y formas rígidas (34). Su primera composición con formas de onda (en concordancia con ejercer de arquitecto en el estudio de Le Corbousier), “Metástasis”, intenta superar la inmovilidad del serialismo integral. Comienza con 46 instrumentos de cuerda interpretando una nota de sol al unísono de la que se van alejando con *glissandi* ascendentes o descendentes. Al final es una masa de 42 notas diferentes (26).

Messiaen estableció los modos de transposición limitada, es decir, un sistema de escalas que, al ser transportados cromáticamente (por semitonos), repiten las mismas notas después de un número limitado de transposiciones. Estas escalas poseen una estructura simétrica, con las mismas notas que la escala original, pero en diferente orden, a diferencia de las escalas diatónicas, donde cada transporte produce una nueva secuencia irregular de tonos y semitonos. La simetría y la limitación en la transposición les confieren unas sonoridades únicas, que Messiaen describió como el encanto de las imposibilidades (35). Desde sus inicios totalmente atonales y una voz agresiva en la mayor parte del “Cuarteto para el fin de los tiempos”, pronto evolucionó hacia unos sonidos de profunda sensualidad y vitalidad, que se mueven de lo mundano a una religiosidad sublime, sumergiéndonos en un universo sonoro de características tan personales que lo distinguen de cualquier otro compositor del siglo XX. Las primeras obras religiosas, como

por ejemplo “Tres pequeñas liturgias”, son una especie de surrealismo cristiano de armonía suntuosa y orquestación exótica, que incluye las ondas Martenot. En algunas de sus obras de finales de los años 40’, como la “Sinfonía Turangalila”, hay ecos de la música hindú, balinesa y andina, siendo un canto a la vida, lleno de brillo y sensualidad. Con la llegada de los años 50’ tuvo una crisis, con experimentación y dudas personales de hacia dónde dirigirse. Frecuentó Darmstadt como profesor, donde los jóvenes aprendieron de su pasión por la música no occidental, de sus nuevos procesos rítmicos, su interés por algunos instrumentos electrónicos y sus disquisiciones sobre el canto de los pájaros, al que dedicó varias obras que, en consonancia con el espíritu de Darmstadt, tenían un sonido fragmentado. A finales de los años 50’ Messiaen volvió a los temas religiosos con la “Transfiguración de Jesucristo”, en la que las consonancias son a veces más aterradoras que las disonancias que las rodean. En 1970 le pidieron una obra para el bicentenario de los EE UU y eligió como tema los cañones de Utah, componiendo la obra “De los cañones a las estrellas”, uno de sus mayores logros. Luego vino la gigantesca ópera “San Francisco de Asís” (26).

Mientras Messiaen transfiguraba la tonalidad, la vanguardia se dividió y enfrentó. Unos se decantaron hacia un pasado musical fragmentado en trozos por medio del collage y otros abandonaron cualquier sistema organizado, con John Cage como figura muy influyente, particularmente sobre Stockhausen, siendo este a su vez seguido, entre otros, por Mauricio Kagel, Silvano Busotti y, en España, Luis de Pablo.

En Polonia, jóvenes compositores como Krzysztof Penderecki y Henryk Gorecki pusieron en primer plano una música de texturas que se llamó sonorismo. El primero, evolucionó desde el serialismo integral de “Treno a las víctimas de Hiroshima”, obra en la que hace un uso intenso de los clústeres (notas adyacentes tocadas al mismo tiempo), a una etapa en la que estas texturas se entremezclan con una estructura armónica más tradicional (“La pasión según san Lucas”) o acordes terroríficos de carácter apocalíptico en la que la luz aparece ahogada por las sombras (“Dies Irae”), para finalmente concluir en un renacimiento postromántico (36). Por su parte, Gorecki evolucionó hacia el llamado minimalismo religioso, del que es muestra su bellísima “Sinfonía nº 3”. Otra gran figura de ese país fue Witold Lutoslawski, que combinó el azar y el orden, con pasajes semiimprovisados y otros de notación estricta.

Varios de los autores citados compusieron obras en las que los procedimientos de collage y cita ejercían como forma para burlarse del público tradicional o de determinadas instituciones (“Ludwig van”, de Kagel,

“Hymnen”, de Stockhausen, “Sinfonía nº 1”, de Schnittke), alternadas con ruidos ásperos y abruptos (26). Mientras que las obras de collage de estos autores tienen un tono exuberante, las de Bernd Alois Zimmermann son torturadas y trágicas. Pese a asistir a los cursos de Darmstadt y admirar a Schoenberg inicialmente, guardaba distancia con el dodecafonismo. Su última gran obra, el sobrecogedor “Requiem por un joven poeta”, contiene fragmentos de discursos políticos, sonidos de armas y otros equipamientos de guerra, collages de diversos músicos y acordes espeluznantes, destilando por todos los poros desesperación por el futuro de la música y del mundo. Un par de meses después de componerla, mandó a su esposa e hijos de vacaciones y se suicidó.

El húngaro Gyorgy Ligeti tuvo devaneos con el dodecafonismo, pero también utilizó en sus obras elementos no atonales, influenciado especialmente por Bela Bartok. Después de un período en el que siguió el conceptualismo de Cage con obras situadas en la parte absurda de la vanguardia, se inspiró en la música de texturas de finales de los 50'. Una de sus características es la micropolifonía, grandes estructuras que crecen a partir de un pequeño zumbido, como en “Atmospheres”, de 1961. En esta y otras obras se concentra especialmente en el timbre de los sonidos, en detrimento de la melodía y armonía, técnica denominada masa de sonido. Así, “Atmospheres” comienza con uno de los acordes más masivos nunca escritos: cada altura de la escala cromática suena en un rango de cinco octavas (26). Partes de sus obras “Requiem”, “Lux aeterna”, “Atmospheres” y “Aventures” fueron incluidas sin su permiso en la película de Stanley Kubrick “2001: una odisea en el espacio”.

Interacciones de la música atonal con el sistema auditivo y los sistemas de predicción y recompensa

En 1863 el físico Hermann von Helmholtz publicó su libro “Lehre von der tonemfindungen” (Sobre las sensaciones de tono), en el que indagaba la esencia de la sensación sonora, descubriendo que se originaba por movimientos vibratorios periódicos del aire. Igualmente, observó que los tonos musicales se diferencian por la existencia de intensidad, altura y timbre, este último debido a tonos armónicos que se superponen a los tonos fundamentales. Además, se ocupó de los batidos de los sonidos mediante un resonador que inventó y lleva su nombre, con el que le fue posible conocer las distintas frecuencias que componen un sonido. De esta forma estableció que cuando el número de batidos es menor de cierto número, se obtiene en general disonancia, intentando de esta manera definir la percepción humana de la consonancia y disonancia en relación a la serie armónica natural, que es una sucesión de sonidos cuyas frecuencias son

múltiplos enteros positivos de una nota base, llamada fundamental (37). Estos batidos se generan cuando las formas de onda de dos tonos cualquiera se cruzan simultáneamente en oposición de fase (Fig. 15). El intervalo de la octava provoca una sensación agradable porque las oscilaciones de la nota más aguda se alinean con las de la nota más grave en una ratio de dos a una, lo que significa que no se perciben batidos (26).

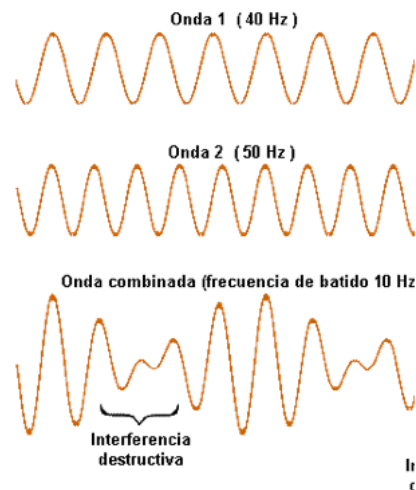


Fig. 15. En los puntos en que la onda 1 y la onda 2 están en oposición de fase, se genera una interferencia destructiva o batido

Para Helmholtz los sonidos afectan tanto al cuerpo como a la mente, explicando por qué determinados intervalos atacan las terminaciones nerviosas mientras otros tienen un efecto tranquilizador. A la cabeza se encuentra el semitono, espacio entre dos teclas contiguas de un piano. Pulsadas a la vez crean rápidos batidos que afligen al oído como un destello de luz a los ojos, dice Helmholtz, o como si te rasparan la piel. Además, Helmholtz aclaró el motivo por el que los acordes mayores son más alegres que los menores, basándose en consideraciones matemáticas y fisiológicas (26). Fred Lerdahl (38), físico teórico moderno, lo expresa del siguiente modo: cuando una señal periódica llega al oído interno, se estimula una zona de la membrana basilar, cuyo pico dispara a la corteza cerebral auditiva, provocando la percepción de una sola nota. Si dos señales periódicas estimulan simultáneamente zonas que se solapan, la perturbación provoca una sensación de aspereza. Similares asperezas despiertan los acordes de séptima mayor, ligeramente más estrecha que una octava (11 semitonos), de séptima menor (10 semitonos) y de novena mayor (14

semitonos) (31). Esos son los intervalos en los que Schoenberg pone el énfasis en su música atonal.

Por otra parte, dada la asociación entre música y movimiento, la música atonal no despierta ningún estímulo para el movimiento, lo cual transgrede uno de los fundamentos del origen de la música creada por los humanos, relevante a la hora de identificarse con ella.

Cuando la música suena en presencia de una multitud entran en juego factores de psicología de masas. Contemplar un cuadro en un museo es muy diferente a escuchar una pieza musical en una sala de conciertos. El cuadro de Kandinski *Impresión III (Concierto)* de 1911 se inspiró en la tercera de las 5 piezas orquestales de Schoenberg, del que era amigo (Fig. 16). Si la abstracción visual y la disonancia musical fueran equivalentes, *Impresión III* y la tercera de las 5 piezas orquestales presentarían una dificultad parecida. Si uno no entiende el cuadro, puede volver más tarde y detenerse más tiempo en él, o verlo desde más cerca, hasta darse cuenta de que la zona en negro superior es un piano de cola, mientras que los trazos que se aprecian debajo y a la izquierda del piano corresponden al público, a la vez que el ubicuo fondo en amarillo representa a la música. En un concierto todos los asistentes experimentan la obra colectivamente a la misma velocidad y parecida distancia, sin poder pararse a considerar un acorde determinado o un ritmo oculto. Conforman una multitud y las multitudes tienden a alinearse como una sola mente (26).



Fig. 16. Cuadro de Kandinski *Impresión III (Concierto)*

Para finalizar, después de todo lo expuesto, cabe preguntarse si es posible que los oyentes de la música atonal puedan experimentar sensaciones similares a las percibidas por los aficionados a la música tonal. Dentro de la neuroestética, disciplina que adopta un enfoque científico para el estudio de las percepciones estéticas del arte, la música es uno de los objetos predilectos de estudio. La mayoría de las investigaciones se han centrado en la música tonal occidental, que se caracteriza por una organización jerárquica tonal, un alto grado de consonancia y una tendencia a proporcionar al oyente una nota tónica como punto de referencia durante la escucha. Esto puede haber llevado a una visión parcial de la estética musical, ya que la música atonal, preponderante en los siglos XX y XXI, que carece de jerarquías y, además, es altamente disonante, sin embargo, es disfrutada por un grupo reducido de personas. Por otra parte, existe la ya comentada tendencia que enfatiza el papel de las emociones en el procesamiento musical (13-15, 40), mientras que otra tendencia adopta una perspectiva más cognitiva, centrándose en las similitudes entre la música y el lenguaje en cuanto a que ambos están organizados en secuencias jerárquicamente estructuradas y, por lo tanto, pueden complementarse al estudiar los mecanismos cerebrales que subyacen al procesamiento complejo del sonido, aportando nuevos conocimientos sobre la arquitectura funcional y neuronal de ambos dominios (41, 42). Ambas tendencias marginan la evaluación estética de la música, que es importante para conocer los mecanismos y factores acompañantes específicos de un contexto artístico. Además, hay que tener presente que los modelos psicológicos de la experiencia estética de la música se concentran en la música tonal occidental. El hacer lo propio con la música atonal podría tener el potencial de revelar mecanismos neuronales que pudieran ser compartidos y, por tanto, específicos de la experiencia estética de la música (43).

Para dilucidar estos aspectos, Mencke et al (43), analizaron 100 segmentos musicales, 50 tonales y 50 atonales, por medio de métodos cuantitativos y automatizados (caja de herramientas MIR para Matlab), eligiendo dos características de la herramienta para describir la tonalidad y la regularidad métrica de las piezas musicales (funciones claridad de clave y claridad de pulso), ya que tanto una como otra pueden proporcionar un valor cuantitativo de la experiencia perceptiva del oyente. La claridad de la clave muestra la fuerza con la que se representa una clave en un momento dado, mientras que la claridad del pulso proporciona estimaciones de la regularidad de la pulsación rítmica o métrica. A la vez, estos autores analizaron factores intrínsecos y extrínsecos que pudieran informar sobre la

apreciación y el placer derivados de la música atonal en un grupo de oyentes. Los resultados mostraron que los segmentos de música tonal y atonal diferían mucho con respecto a sus valores de claridad de clave y de pulso. Como cabía esperar, se observaron valores de claridad de clave más altos para las piezas clásicas debido a su constitución tonal y valores mucho más bajos para las piezas atonales, ya que no transmiten una tonalidad tan clara como su contraparte tonal. Como quiera que el pulso es cualquiera de las señales musicales periódicas transitorias que marcan el ritmo, una claridad de pulso alta indica una claridad de pulso regular y una claridad de pulso baja una estructura métrica no regular, correlacionándose de forma clara la primera con la música tonal y la segunda con la atonal.

Se observaron factores personales que estaban relacionados con los rasgos idiosincráticos de cada individuo. Así, por ejemplo, aquellos con una alta apertura a la experimentación eran más susceptibles de percibir la emoción musical y a utilizar la música para la estimulación cognitiva. El rasgo de apertura a la experiencia se ha vinculado a fenómenos de neurotransmisión dopaminérgica que se asocian con una variación en el procesamiento de recompensas y emociones.

Otros de los factores observados eran extrínsecos, uno de ellos derivado de que el mero hecho de la ejecución de una pieza musical en un auditorio la enmarca conceptualmente como un arte. En otros casos, experimentar momentos agradables con la música atonal podría surgir de un mecanismo llamado dominio cognitivo, basado en constructos cognitivos tales como tener una información amplia sobre la obra o el autor, que en lo visual han demostrado jugar un papel en el disfrute de las pinturas abstractas. Estos constructos pueden ser también sociales, como ocurre, por ejemplo, con la activación, observada mediante RMN funcional, de áreas del cerebro cuando a una persona se le dice que la obra está realizada por un compositor real en comparación a lo que pasa cuando se le indica que está creada por un programa informático. Aunque escuchar una pieza atonal puede llevar a una experiencia sensorial desagradable vinculada a la activación del giro parahipocampal y de la amígdala, una persona puede hacer una evaluación positiva de la audición debido a alguna estructura particular que hayan descubierto en la composición, o bien por su complejidad o la novedad que representa. Esto es un ejemplo de cómo una emoción negativa puede incluso reforzar la intensidad de una experiencia estética positiva (43). Finalmente, la atención que se presta a una experiencia musical es un componente necesario, ya que escuchar música atonal es una actividad absorbente que no se puede hacer en paralelo a otras actividades, como puede ocurrir con la música más sencilla.

Dentro de los factores intrínsecos identificados tenía relevancia el efecto de la mera exposición, según el cual la escucha repetida conduce a una apreciación de la estructura musical, incluso en el caso de las disonancias con la consiguiente dificultad para recordarlas, al igual que la valoración de la extrema complejidad. Todo esto explica que, dentro de la mayoría de las personas que no tienen preferencia por este tipo de música, en aquellos con una exposición repetida a la misma, la percepción de la complejidad disminuiría, aumentando a la vez la previsibilidad de la misma.

Otro aspecto a resaltar es la incertidumbre como fuente de placer. Como ya se ha expuesto, se conocen los mecanismos del placer inducido por la música, que están caracterizados por una sensación de escalofrío con erizamiento del vello. En relación con esto, se ha observado en modelos animales que una recompensa inesperada genera una mayor explosión de dopamina que cuando el resultado gratificante es totalmente esperado (44). La teoría de la codificación predictiva establece que, como máquina de predicción, el cerebro rastrea y anticipa cambios en el entorno para asegurar una buena adaptación. Dado que la música consta de más parámetros que las relaciones tonales, las predicciones durante la escucha de música pueden depender de otras características como el timbre, la dinámica u otras. Como consecuencia, la música atonal proporciona al oyente un modelo predictivo débil derivado de la ausencia de regularidad tonal y métrica, lo que resulta en una alta incertidumbre (43). Por el contrario, en la música tonal las jerarquías tonales proporcionan un modelo predictivo sólido que puede dar lugar a que determinados acontecimientos se perciban como muy inesperados. Además, se ha demostrado que los puntos de alto contenido de información en las piezas musicales generan estados de excitación fisiológica más altos. En el caso de la música atonal los procesos predictivos pueden adaptarse a la incertidumbre tonal y métrica y las predicciones atenuadas podrían reflejarse en el nivel de activación neuronal. ¿Qué propiedades debe cumplir un estímulo incierto para producir un escalofrío placentero? Presumiblemente, una vez adaptados a la música, los oyentes podrían estar a la expectativa de lo inesperado. El problema es que ocurra esto cuando solo se crean predicciones débiles o en su ausencia. Sin embargo, el evento más improbable en un entorno muy irregular es el aumento de la regularidad. Por ello, parece que la aparición ocasional de regularidades (tono o timbre específico que se repiten de vez en cuando), pueden dar lugar a sensaciones placenteras. No obstante, que se pueda hablar de placer con el desarrollo de este proceso sigue siendo una pregunta abierta (43).

BIBLIOGRAFÍA

1. Conceptos básicos sobre música. Historia de la sinfonía. <https://www.historiadelasinfonia.es>
2. Spitzer M. El ritmo infinito. El ser humano y la música a lo largo de la historia. Barcelona, Ariel 2023
3. Zentner M, Eerola E. Rhythmic engagement with music in infancy. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 2010; 107: 5768-5772
4. Phillips-Silver J, Trainor LJ. Feeling the beat: movement influences infant rhythm perception. *Science* 2005;308:1430.doi:10.1126/science.1110922
5. Phillips-Silver J, Trainor LJ. Hearing what the body feels. *Cognition* 2007;105:533–546. doi:10.1016/j.cognition.2006.11.006
6. Phillips-Silver J, Trainor LJ. Vestibular influence on auditory metrical interpretation. *Brain Cogn.* 2008;67:94–102. doi: 10.1016/j.bandc.2007.11.007
7. Todd NPM, Lee CS. The sensory-motor theory of rhythm and beat induction 20 years on: a new synthesis and future perspectives. *Front Hum Neurosci* 2015;9:444. doi: 10.3389/fnhum.2015.00444.
8. Trainor LJ, Gao X, Lei JJ, Lehtovaara K, Harris LR. The primal role of the vestibular system in determining musical rhythm. *Cortex* 2009;45:35–43. doi:10.1016/j.cortex.2007.10.014
9. Koelsch S. Brain correlates of music-evoked emotion. *Nature Rev Neurosci* 2014;15,170–180. doi:10.1038/nrn3666
10. Yin HH, Knowlton BJ. The role of the basal ganglia in habit formation. *Nature Rev Neurosci* 2006;7:464–476. doi:10.1038/nrn1919
11. Van Dyck E, Moelants D, Demer M, Deweppe A, Coussement P, Leman L. The impact of the bass drum on human dance movement. *Music Percept* 2013;30,349–359. doi:10.1525/mp.2013.30.4.349
12. Nussbaum C. The musical representation: meaning, ontology, and emotion. Cambridge, Mass. MIT Press 2007
13. Zatorre RJ, Chen JL, Penhune VB. When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Rev. Neurosci.* 2007; 8: 547-558
14. Zatorre R, Salimpoor V. From perception to pleasure: music and its neural substrates. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2013; 110: 10430-10437

15. Salimpoor V, Benovoy M, Larcher K, Dagher A, Zatorre R. Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature Neurosci.* 2011; 14: 257-262)
16. Salimpoor V, van der Bosch I, Kovacevic N, McIntosh AR, Dagher A, Zatorre R: Interactions between the nucleus accumbens and auditory cortices predict music reward value. *Science* 2013; 340:216-219)
17. Ferreri L, Mas-Herrero E, Zatorre R, Ripollés P, Gómez-Andrés A, Alicart H, Olivé G, Marco-Pallarés J, Antonijoan RM, Valle M, Riba J, Rodríguez-Fornells A. Dopamine modulates the reward experiences elicited by music. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2018; 116: 3793-3798)
18. Mas-Herrero E, Zatorre RJ, Rodríguez-Fornells A, Marco-Pallarés J. Dissociation between musical and monetary reward responses in specific musical anhedonia. *Curr Biol* 2014; 24:699-704
19. Martínez-Molina N, Mas-Herrero E, Rodríguez-Fornells A, Zatorre RJ, Marco-Pallarés J. Neural correlates of specific musical anhedonia. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2016;113:E7337-E7345
20. Mas-Herrero E, Zatorre RJ, Marco-Pallarés J. Understanding individual differences to specific rewards through music. *Trends Cogn Sci* 2025;29:S1364-6613; doi: 10.1016/j.tics.2025.06.015. Online ahead of print
21. Bignardi G, Wesseldijk LW, Mas-Herrero E, Zatorre RJ, Ullen F, Fisher SE, Mosing MA. Twin modelling reveals partly distinct genetic pathways to music enjoyment. *Nature Commun.* 2025; 16: 2904. doi.org/10.1038/s41467-025-58123-8
22. López Calo J. Músicos españoles del pasado: la controversia de Valls. *Tesoro Sacro Musical* 1971
23. Sánchez Diana N. El arte de la ópera de Pekín. *WordPress.com* 2024
24. Meyer L. *Emotion and meaning in music.* Chicago, Chicago University Press 1956
25. Patel A, Iversen J. The evolutionary neuroscience of musical beat perception and the action simulation for auditory prediction. *Front. Systems Neurosci.* 2014; 8: 1-14
26. Ross A. *El ruido eterno. Escuchar al siglo XX a través de su música.* Barcelona, Seix Barral 2009
27. Rodríguez Canfranc P. Tritono: diabolus in música. 2010. <https://musicaantigua.com>

28. de Candé R. Historia universal de la música. Tomo 2. Madrid, Aguilar 1981.
29. Dodecafonismo. Wikipedia. <https://es.wikipedia.com>
30. Fernández de Larrinoa R. Introducción al dodecafonismo. 2015. <https://bustena.wordpress.com>
31. Celedón G. John Cage y la posibilidad de pensar el sonido como acontecimiento. Aproximaciones filosóficas a su obra. Revista Musical Chilena 2015; 69: 223-234
32. Mauceri J. La guerra y la música. Los caminos de la música clásica en el siglo XX. Madrid, Ediciones Siruela 2024
33. Escobar Martínez C.D. Una guía por la música de Karlheinz Stockhausen. Medium 2018, <https://medium.com>
34. Fontán M.J. Iannis Xenakis 1922-2001, una música fuera del tiempo. Nueva Revista 29 de junio de 2001. <https://www.nuevarevista.net>
35. Transposición limitada. Scribd. <https://es.scribd.com>
36. Armendáriz Moreno D. Krzysztof Penderecki, síntesis de tradición y vanguardia. Aceprensa, diciembre 2001. www.aceprensa.com
37. Bertoli O. Investigaciones sobre las sensaciones sonoras de Hermann von Helmholtz. <https://search.app/VNa3DThhZKMwdrSY8>
38. Lerdahl F, Jackendorf R. Teoría generativa de la música. Madrid, Akal 2003
39. Intervalo (música). Wikipedia. <https://es.wikipedia.com>
40. Koelsch S, Fritz T, Cramon DY, Muller K, Frederici AD. Investigating emotion with music: an fMRI study. Hum. Brain Mapp. 2006; 27: 239-250.
41. Patel AD. Language, music, syntax and the brain. Nature Neurosci. 2003; 6: 674-681.
42. Maess B, Koelsch S, Gunter TC, Friederici AD. Musical syntax is processed in Broca's area: an MEG study. Nature Neurosci. 2001; 4: 540-5.
43. Mencke I, Omigie D, Wald-Fuhrmann M, Brattico E. Atonal music: can uncertainty lead to pleasure? Front. Neurosci. 2018; 12 doi.org/10.3389/fnins.2018.00979
44. Schultz W, Dayan P, Montague PR. A neural substrate of prediction and reward. Science 1997; 275: 1593-1599

GUIA DE AUDICIONES DE VARIAS DE LAS OBRAS CITADAS EN EL TEXTO

Arnold Schoenberg

Cinco piezas para orquesta: <https://youtu.be/3bqlt1EOlwg?list=RD3bqlt1EOlwg>

Erwartung: <https://youtu.be/60UcUtDB8rA>

Moisés y Aaron: <https://youtu.be/5nD36ZpRyKU>

Anton Webern

Seis piezas, Op. 6: https://youtu.be/0hLv_WPqGUM?list=RD0hLv_WPqGUM

Alban Berg

Wozzeck: <https://youtu.be/jVmWimEX1gw>

Olivier Messiaen

Cuarteto para el fin de los tiempos: <https://youtu.be/QAQmZvxVffY>

Sinfonía Turangalila: <https://youtu.be/xOnZ1-sOCwo>

De los cañones a las estrellas: <https://youtu.be/iBRTJMKyvV0>

Pierre Boulez

Polyphonie X: https://youtu.be/5_Br5uAc8RE?list=RD5_Br5uAc8RE

Le marteau sans maître: <https://youtu.be/AwxB4IFMy3U?list=RDawxB4IFMy3U>

Repons: <https://youtu.be/OQE5TYnD58k?list=RDOQE5TYnD58k>

John Cage

In a landscape: https://youtu.be/kGm4_sH61a0?list=RDkGm4_sH61a0

Radio music: <https://youtu.be/mWeUE-uL7Qk>

Pierre Schaeffer

Sinfonía para un hombre solo: <https://youtu.be/-HBMvmJQzcY>

Karlheinz Stockhausen

El canto de los adolescentes: <https://youtu.be/Z5SjIK3fDKU?list=RDZ5SjIK3fDKU>

Gruppen: <https://youtu.be/DvnH1mZnJds?list=RDDvnH1mZnJds>

Luigi Nono

El canto suspendido: <https://youtu.be/71lAtIC7sdk>

Luciano Berio

Folk songs: <https://youtu.be/0Ox2wBQtAH4>

Iannis Xenakis

Metástasis: <https://youtu.be/jo6Gk2cw45Y>

Tristan Murail

Gondwana: <https://youtu.be/q6WXzOlsBuQ?list=RDq6WXzOlsBuQ>

Gerard Grisey

Partiels: <https://youtu.be/FS0hx9tqsPM?list=RDFS0hx9tqsPM>

Alfred Schnittke

Sinfonía nº 1: <https://youtu.be/2UoJMzjc-DE>

Krzysztof Penderecki

Treno a las víctimas de Hiroshima: <https://youtu.be/Pu371CDZ0ws>

La pasión según San Lucas: <https://youtu.be/xhKhStgNxrw>

Dies irae: <https://youtu.be/ommO1vOqMCE>

Bernd Zimmermann

Requiem por un joven poeta: https://youtu.be/4lqKh8_OeLA

Gyorgy Ligeti

Atmospheres: <https://youtu.be/RCNzwdLwA8g?list=RDRCNzwdLwA8g>

Réquiem: <https://youtu.be/wqrJmxy4q3A?list=RDwqrJmxy4q3A>

Lux aeterna: <https://youtu.be/GwlksfO729I?list=RDGwlksfO729I>