

-TRABAJO DE FIN DE GRADO DE BIOLOGÍA-

Música y cerebro



*Influencia del arte musical
en la biología humana*

Violeta Siesto Sánchez



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL



500 AÑOS

**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

1218 ~ 2018

Música y cerebro

Influencia del arte musical en la biología humana

Music and brain

Influence of musical art in human biology

- TRABAJO DE FIN DE GRADO -

- GRADO EN BIOLOGÍA -

Violeta Siesto Sánchez

Salamanca, Junio de 2017

Música y cerebro. Influencia del arte musical en la biología humana

Music and brain. Influence of musical art in the human biology

Abstract

Music is everywhere. We listen to it at work, at home, in a restaurant, on the street... Nowadays we don't need to go to a musical performance to be able to enjoy music. Music surrounds us. One can wonder if music is just a noise we put into our daily routine, or if it means something else more. Is it part of the human nature? Does music exist in other species? Could it help us to improve our abilities? Or is it just another manifestation of art?

This work is aimed at giving an answer to these and more questions from a biological point of view. First, we will explore the related human anatomy, going deeper into biological concepts from the auditory system to the brain cortex to understand how we process music. In the second part, we will integrate these concepts with the perception of music, and study its relation with the human being during history, trying to comprehend its origin and its role into the human survival.

To finish this work, a short research work will be proposed. This proposal aims at be a way of connecting all the concepts explained previously, with the objective of finding out if music can influence ourselves, even inducing serious physiological changes.

Índice

Introducción y objetivos	1
El sonido	2
El sistema auditivo	3
Conducción de las ondas sonoras	4
Transducción de la señal por las células ciliadas	7
Inervación de las células ciliadas	8
Conducción del impulso nervioso	9
Tonotopía: codificación de la frecuencia sonora	10
La corteza auditiva	11
La música y el hombre. ¿Creación artística o componente intrínseco de la naturaleza humana?	13
¿Es la música una habilidad cognitiva adaptativa?	15
¿Está presente la música en la filogenia?	16
La música de las emociones, la emoción de la música.....	18
Emociones humanas: ¿Expresión individual o universal?	19
Efectos de la práctica musical en la organización de la estructura cerebral	23
Musicoterapia: cuando la música ayuda a curar.....	24
Conclusiones	26
Propuesta de investigación: la fina línea entre sentir emociones y sufrirlas	26
Bibliografía	29

Introducción y objetivos

La música es una forma de arte que lleva milenios siendo practicada por los humanos y que forma parte de la extensa variedad cultural de nuestra especie. Aunque existen múltiples variantes dependiendo del continente, la época o la tradición, la música se basa en una sucesión de sonidos ordenados que constituyen melodías y acordes, regidos por leyes armónicas y rítmicas, y combinados de las más diversas formas para expresar y despertar sentimientos, la mayoría de veces sin necesidad de imágenes o palabras.

A pesar de la explicación anterior, la música es muy difícil de definir. Cada cultura le da una interpretación distinta al concepto, y si la analizamos desde un punto más personal, desde el pensamiento subjetivo de un individuo, la interpretación aún es más intrincada y particular. Por ello, tal vez la mejor definición podría ser, como dijo el compositor Ígor Stravinski, que *“la música sólo se representa a sí misma”*.

La música llega a nuestro organismo gracias a un órgano del que sabemos relativamente poco: el cerebro. Situado en la cavidad craneal, el cerebro es una masa de tejido nervioso que integra las funciones cognitivas, motoras, emocionales y vitales del organismo. Sin embargo, esta concepción del cerebro es relativamente reciente ya que, a lo largo de los siglos, las distintas culturas han atribuido diferentes capacidades a este órgano: desde la inutilidad que le achacaban los egipcios al extraerlo de sus muertos en la momificación, hasta la función refrigeradora de la sangre que le atribuía Aristóteles. Por su parte, Hipócrates, médico visionario contemporáneo de Aristóteles (siglo V-IV a.C.), postulaba en su *Corpus Hippocraticum* lo siguiente:

“Los hombres deben saber que del cerebro y solo de él vienen las alegrías, las delicias, el placer, la risa y también el sufrimiento, el dolor y los lamentos. Por él adquirimos sabiduría y conocimiento, y vemos y oímos (...) es el máximo poder en el hombre. Es nuestro intérprete de aquellas cosas que están en el aire.”

Entonces, si la música es una manifestación artística, hecha por y para el disfrute del humano, compuesta tan solo por ondas o fluctuaciones de presión que se propagan a través de un medio elástico hasta nuestro oído, ¿cómo es posible que estas ondas puedan emocionar hasta el punto de sentirnos identificados con una melodía, de ponernos alerta con una simple nota o de extasiarnos con dos acordes? ¿Por qué temblamos en una cascada de emociones frente a unas pocas notas que provocan un estado exultante o la más honda de las melancolías sin algo que haya acontecido en nuestra vida para provocarlo? ¿Hasta qué punto la música puede influir en nuestro organismo?

El objetivo de este trabajo es intentar responder a estas preguntas, comprendiendo de forma más amplia distintos conceptos necesarios para entender cómo puede nuestro organismo percibir la música y responder a ella de formas diversas.

El sonido

Los sonidos constituyen un estímulo básico para la mayor parte de los animales. Por ello los animales están dotados de sistemas sensoriales y neurales para la detección, análisis e interpretación de los estímulos acústicos [11].

Los sonidos son ondas de presión que se alejan en todas direcciones de la fuente que las genera, haciendo que las partículas del medio por el que se propagan vibren. Cada sonido tiene dos propiedades fundamentales: **frecuencia** e **intensidad** (Fig.1) [11].

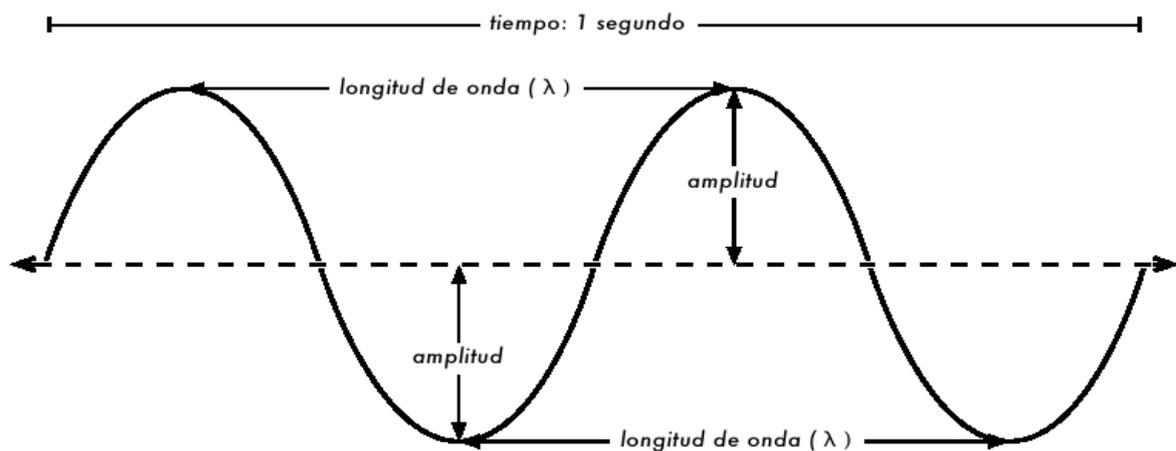


Figura 1. Longitud de onda, amplitud (intensidad del sonido) y frecuencia (sonidos agudos o graves) (www.emaze.com).

La **frecuencia** (Fig.1, Fig.2) o altura del sonido se define como el número de ondas que pasan por un punto concreto del medio en un tiempo determinado, y se mide en hercios (Hz). Los sonidos de alta frecuencia son percibidos subjetivamente como agudos y los de baja frecuencia como sonidos graves [11].

La **intensidad** (Fig.1, Fig.2) o amplitud del sonido está relacionada con la magnitud del desplazamiento de las partículas del medio por el que se propaga, e indica la cantidad de energía que transporta la onda de presión. La intensidad hace que percibamos los sonidos como fuertes o como débiles. Se mide en decibelios (dB) [11].



Figura 2. Propiedades del sonido (www.salademusicapico1.blogspot.com.es).

En la naturaleza, los sonidos están integrados por una frecuencia principal, que es la que percibimos, y un conjunto de frecuencias accesorias llamadas **armónicos** [11]. La combinación de estos armónicos configura el **timbre** (Fig.2): cualidad tonal característica gracias a la que se puede reconocer y distinguir la

fuente emisora del sonido. Además de por los armónicos, el timbre varía según la frecuencia, la intensidad y la **duración** (Fig.2) del sonido [4].

Como veremos más adelante, de todas las propiedades del sonido, únicamente la frecuencia y, en menor medida, la intensidad son detectadas y extraídas por la cóclea. Las demás propiedades de la información auditiva son procesadas e interpretadas en el cerebro [11].

El sistema auditivo

La música llega al cerebro a través del sistema auditivo; para ello, tiene que atravesar una serie de estructuras especializadas en la captación de las ondas de distinta frecuencia e intensidad que conforman los sonidos. Este sistema se compone de varias partes:

- *Oído externo*: constituye la parte visible del sistema auditivo y contribuye a la localización espacial del sonido, identificando el origen de la fuente sonora.

Está compuesto por cartílago y piel, y se estructura en pliegues que forman la oreja o **pabellón auditivo**; su función es la captación óptima de los sonidos del medio [4]. Se continúa con el **conducto auditivo**, cuya forma, diámetro y longitud determinan la resonancia de sonidos de ciertas frecuencias, incrementando su intensidad. Así, ambas estructuras favorecen la percepción de sonidos de frecuencias comprendidas entre 1,5 y 7 kHz. A través del conducto auditivo las ondas se dirigen hacia el oído medio, introduciéndose en el cráneo (Fig.3) [11].

- *Oído medio*: está formado por una cavidad de aire separada del oído externo por el **tímpano**, y del oído interno por la **ventana oval**. En su interior se encuentra la **cadena de huesecillos**, tres pequeñas estructuras óseas (más una cuarta estructura que conecta yunque y estribo llamada apófisis lenticular) conectadas entre sí que transmiten y amplifican las ondas para

posibilitar su llegada al oído interno [4]. La función del oído medio es modificada por dos pequeños músculos de contracción refleja: el *tensor del tímpano* y el *estapedio*. La contracción de estos músculos aumenta la rigidez de la cadena de huesecillos, lo que disminuye la eficacia de la transmisión del sonido, protegiendo al oído de los traumas acústicos y mejorando la percepción de sonidos de frecuencias altas en un entorno ruidoso de frecuencias bajas (Fig. 3) [11].

- *Oído interno*: está compuesto por la cóclea (que explicaré en profundidad más adelante) en cuyo interior se localiza un líquido incompresible que se nombra de distinta forma en función de donde se localice: la endolinfa (en la rampa media) y la perilinfa (en las rampas vestibular y timpánica). El movimiento de este líquido provoca una serie de reacciones que permiten que el sonido viaje hasta el nervio estatoacústico, proyectándose este hacia los núcleos cocleares del bulbo [4]. Esta parte del oído es la que finalmente conduce la información sonora captada hasta el cerebro, donde se analizará y descodificará para su correcta interpretación (Fig.3) [11].

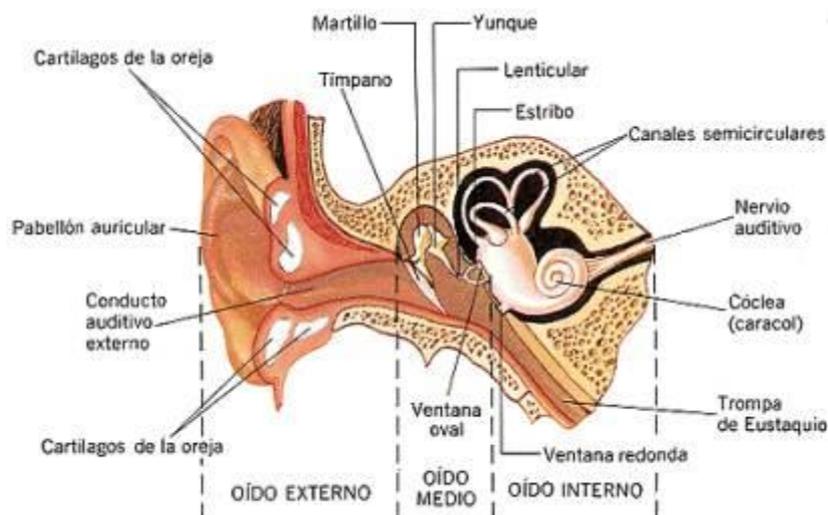


Figura 3. Estructura anatómica del oído humano (www.conceptos25.blogspot.com.es).

Conducción de las ondas sonoras

Al igual que la estructura del sistema auditivo, el procesamiento de los sonidos es un mecanismo bastante complejo. Cuando un sonido es captado por la oreja, este se conduce a través del conducto auditivo hasta el tímpano (Fig.3). Al entrar en contacto con la onda sonora, la membrana timpánica vibra en función de la frecuencia y la intensidad de dicha onda y transmite esta energía a la cadena de huesecillos (martillo, yunque, apófisis lenticular y estribo) que ejercen presión sobre la ventana oval, provocando el movimiento del líquido coclear contenido por la cóclea [4].

El caracol o **cóclea** (Fig.3, Fig.4) es una estructura en forma de espiral hueca que se compone de tres cámaras llenas de líquido: la rama vestibular, la rama media o ducto coclear y la rama timpánica. Las tres rampas se enroscan hacia el interior de la cóclea. La membrana de Reissner separa las rampas vestibular y media mientras que las rampas timpánica y media están separadas por la **membrana basilar**, sobre la que se encuentra el **órgano de Corti**, que contiene neuronas receptoras auditivas llamadas células ciliadas; encima de este se localiza la membrana tectoria [4].

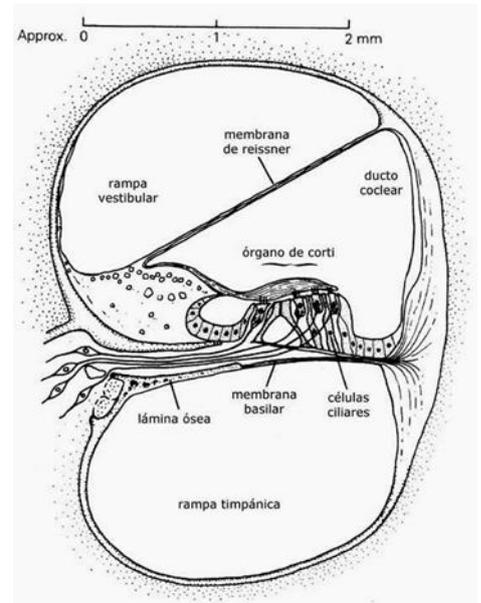


Figura 4. Sección transversal de la cóclea en la que se aprecia su anatomía (www.eumus.edu.uy).

Las rampas vestibular y timpánica están conectadas por el helicotrema. El líquido interno de ambas se denomina perilinfa y se caracteriza por tener bajas concentraciones de K^+ (7 mM) y altas concentraciones de Na^+ (140 mM). La rama media, sin embargo, está llena de endolinfa, cuya composición iónica se basa en altas concentraciones de K^+ (150 mM) y bajas de Na^+ (1 mM). Todo esto provoca un potencial eléctrico llamado potencial endococlear, que es 80 mV más positivo en la endolinfa con respecto a la perilinfa y que tiene un papel fundamental en la transducción auditiva [4].

La **membrana basilar** (Fig.4, Fig.5) -localizada en el interior de la cóclea separando las rampas media y timpánica- es una estructura flexible que se curva en respuesta a la onda sonora. Se caracteriza por ser más ancha en su vértice (zona cercana al helicotrema) que en la base (zona cercana a las ventanas oval y redonda), siendo además mucho más flexible en el vértice [4].

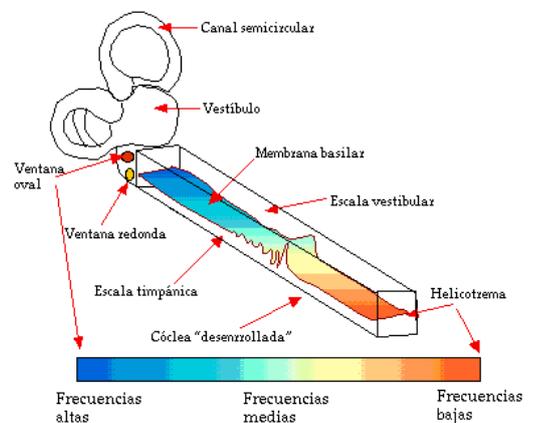


Figura 5. Esquema de la membrana basilar (<http://www.labc.usb.ve>).

Las ondas sonoras provocan un movimiento continuo hacia delante y hacia atrás de la base del estribo, lo que tendrá como consecuencia un desplazamiento de la perilinfa y la endolinfa, deformándose así la membrana basilar y su base a medida que la onda se desplaza por ella. La distancia que recorre la onda depende de la frecuencia del sonido (Fig.5, fig.6): a mayor frecuencia, mayor será la vibración de la membrana en su zona más rígida, por lo que la energía se disipará rápido y la onda no se propagará muy lejos. Por el contrario, los sonidos de baja frecuencia generan ondas que recorren toda la membrana basilar hasta llegar a su extremo más flexible, por lo que la mayoría de su energía no se disipa hasta el final [4].

Teniendo esto en cuenta, se llega a la conclusión de que las distintas frecuencias de los sonidos están asociadas a deformaciones máximas de la membrana basilar en puntos distintos de la misma y, por tanto, la variedad de ondas producidas por sonidos de distintas frecuencias son responsables de la codificación neural del tono [4].

Una vez que se ha transformado el sonido en energía mecánica, esta debe ser convertida a cambios de polarización de la membrana. Este proceso se realiza por medio de las células receptoras auditivas, localizadas en el **Órgano de Corti**, situado sobre la membrana basilar y formado por células ciliadas, los pilares de Corti y diversas células de sostén (Fig.7) [4].

Las **células ciliadas** (Fig.8) son los auténticos receptores celulares auditivos y cada una de ellas posee alrededor de 100 estereocilios. Las células ciliadas se intercalan con la membrana basilar (situada en la base del Órgano de Corti) y la lámina reticular, formada por una fina capa tisular que cubre estas células. Ambas capas se encuentran separadas por los pilares de Corti que les proporcionan, además, apoyo estructural [4].

Los estereocilios de la parte superior de las células ciliadas se extienden por encima de la lámina reticular y penetran en la endolinfa, terminando sus extremos en la **membrana tectoria** que forma un techo por encima del órgano de Corti. Estos cilios penetran tanto en la sustancia gelatinosa de la membrana tectoria (células ciliadas externas) como por debajo de esta membrana (células ciliadas internas). Las células ciliadas hacen sinapsis con neuronas cuyos cuerpos celulares se localizan en el **ganglio espiral**. Estas neuronas son bipolares y uno de sus dos axones recibe la señal sináptica de la base y los costados de las células ciliadas a las que están conectados. El otro axón penetra en una rama del **nervio estatoacústico: el nervio auditivo**, el cual se proyecta hacia los núcleos cocleares del bulbo raquídeo [4].

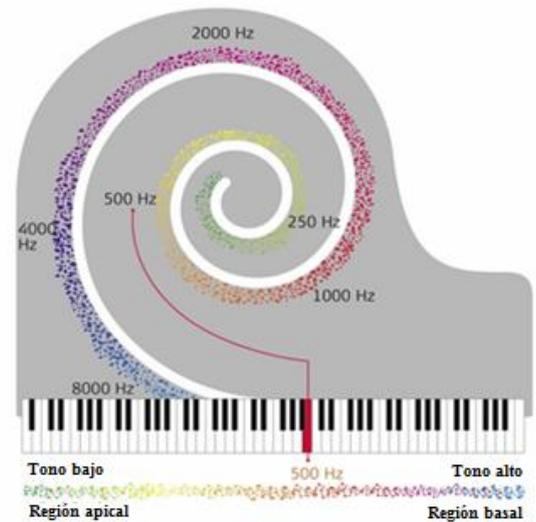


Figura 6. Correlación entre los sonidos producidos por las notas musicales y el lugar en el que deforman la membrana dependiendo de las frecuencias emitidas (www.medel.com).

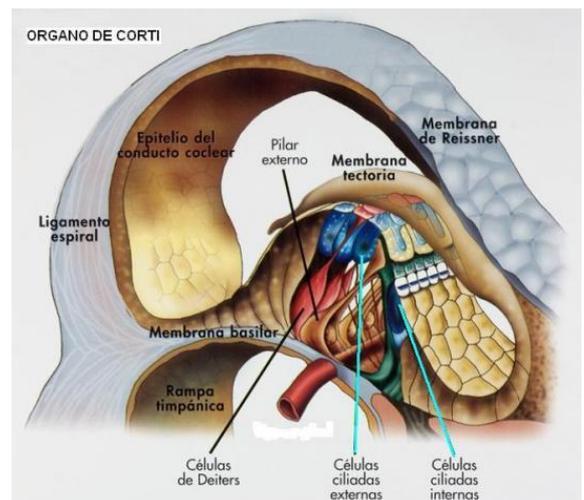


Figura 6. El órgano de Corti integrado en la cóclea (www.sorderayvertigo.com).

Cuando la membrana basilar se mueve en respuesta a la presión que ejerce el estribo sobre la cóclea, los estereocilios, en contacto con la membrana tectoria, se doblan (Fig.8). Esto genera un potencial de acción que provoca movimiento de iones liberándose neurotransmisor por las vesículas sinápticas, difundiéndose este a las neuronas del ganglio espiral que comunican las células ciliadas con el nervio auditivo, que finalmente envía la información auditiva al cerebro [4].

Transducción de la señal por las células ciliadas

En el momento en que el estribo se desplaza, la perilinfa y la membrana basilar se mueven, arrastrando consigo esta última los elementos a los que está unida: los pilares de Corti, la lámina reticular y las células ciliadas. Todos estos componentes se mueven como una unidad [4].

Las células ciliadas convierten los movimientos de los estereocilios en señales neurales. Cuando una onda provoca que los estereocilios se curven, dependiendo de la dirección hacia la que lo hagan, se polarizan o se hiperpolarizan partiendo de un potencial de reposo de -70 mV (Fig.8, Fig.9). Para que esto sea posible, en los estereocilios existen distintas estructuras especializadas. Así, en los extremos de los estereocilios existe un tipo especial de canal catiónico, el **canal TRPA-1**. La curvatura de los estereocilios induce la apertura y cierre de estos canales, generando cambios en el potencial receptor de las células ciliadas. Cada canal está conectado por un filamento elástico llamado

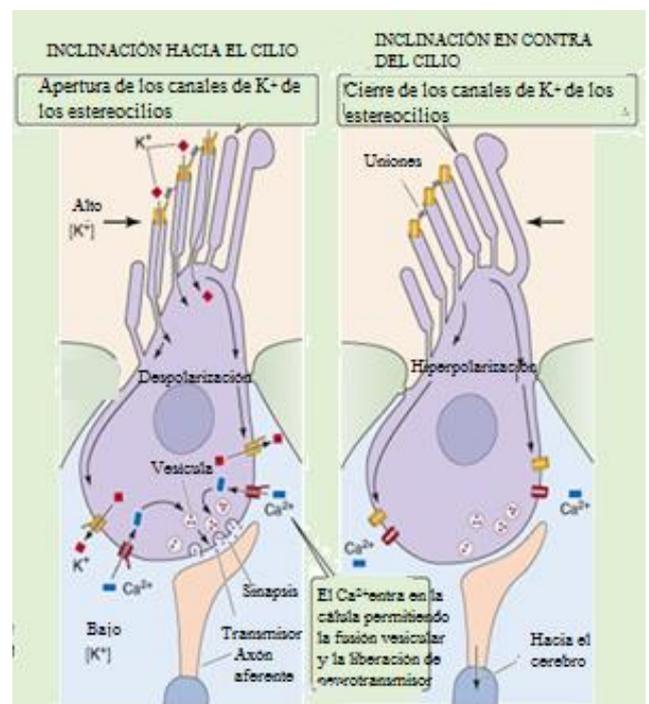


Figura 7. Polarización e hiperpolarización de las células ciliadas como consecuencia del movimiento de la membrana basilar. (www.emaze.com)

unión de punta y que está unido a la pared del cilio adyacente. Cuando los cilios están rectos, la tensión de la unión de punta mantiene el canal en un estado de apertura parcial, permitiendo así el paso de una cantidad baja de K^+ desde la endolinfa al interior de la célula ciliada. El desplazamiento del cilio en una dirección aumenta la tensión de la unión de punta, incrementando de esta forma el flujo de entrada de K^+ . Si el cilio se desplaza en dirección contraria, disminuye la tensión y permite el cierre del canal por completo, impidiendo la entrada de K^+ (Fig.9) [4].

El paso de K^+ al interior de la célula ciliada provoca una despolarización, lo que abre los canales de voltaje de Ca^{2+} dependientes de voltaje. Esta entrada suplementaria de Ca^{2+} despolariza aún más a la célula y desencadena la liberación de neurotransmisor (glutamato). Así se activan las fibras del ganglio espiral postsinápticas localizadas a continuación de la célula ciliada [4].

Inervación de las células ciliadas

El ganglio espiral es el encargado de inervar las células ciliadas de distinta forma en función de que estas sean células ciliadas internas o externas (Fig.10):

- Las **células ciliadas internas** son poco numerosas en comparación con las externas. Sin embargo, el 95% de las neuronas del ganglio espiral se comunican con ellas; por tanto, una fibra del ganglio espiral recibe señales de una sola célula ciliada interna que, a su vez, conecta con 10 axones del ganglio espiral. **La mayor parte de la información coclear proviene de ellas** [4].
- Las **células ciliadas externas** son muy numerosas; a pesar de ello, tan solo un 5% de las neuronas del ganglio espiral hacen sinapsis con ellas. Debido a su elevado número, cada fibra del ganglio espiral hace sinapsis con varias células ciliadas externas. Estas células amplifican el movimiento de la membrana basilar cuando los estímulos sonoros son de baja intensidad actuando como **amplificadores cocleares**. Pueden realizar esta función gracias a unas proteínas motoras que tienen en la membrana, cuyo componente principal es la *prestina*, que modifican la longitud de las células ciliadas externas. Además de esta respuesta, las células ciliadas responden con un potencial de receptor. Cuando las proteínas motoras cambian la longitud de las células

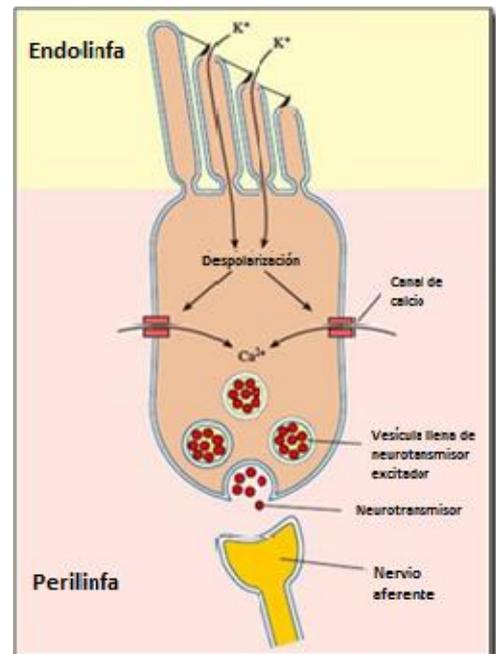


Figura 8. Despolarización de la célula ciliada y activación de los canales de Ca^{2+} , teniendo como consecuencia la liberación de glutamato (audiology.wordpress.com).

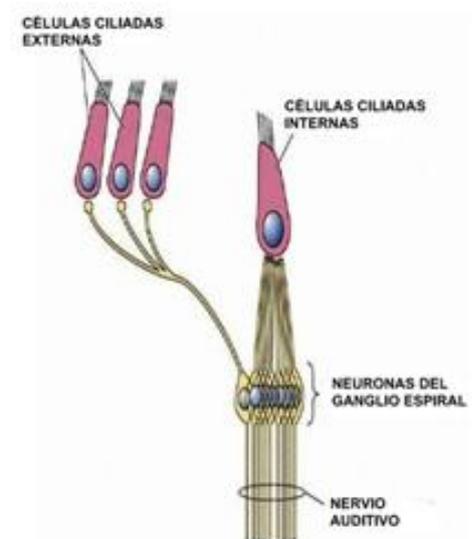


Figura 9. Inervación de las células ciliadas. (audiology.wordpress.com)

ciliadas, estas empujan la membrana basilar modificando la distancia entre las membranas cocleares basilar y reticular [4].

Además, el efecto de las células ciliadas externas sobre la respuesta de las células ciliadas internas puede ser modificado por neuronas de fuera de la cóclea. Existen alrededor de 1000 fibras eferentes que se proyectan desde el tronco cerebral hacia la cóclea. Estas fibras establecen sinapsis con células ciliadas externas liberando acetilcolina. Su estimulación cambia la forma de las células ciliadas externas afectando, por tanto, la respuesta de las células ciliadas internas. De esta forma las señales descendentes que circulan desde el cerebro hasta la cóclea pueden regular la sensibilidad auditiva [4].

Conducción del impulso nervioso

Desde el ganglio espiral salen fibras aferentes (Fig.11) que, a través del nervio estatoacústico, entran en el tronco cerebral. Una vez aquí, concretamente en el bulbo raquídeo, los axones inervan los núcleos cocleares dorsal y ventral y se ramifican posteriormente para hacer sinapsis en neuronas pertenecientes a ambos núcleos cocleares. A partir de este punto pueden darse numerosas rutas nerviosas, sin embargo existe una vía principal llamada **vía primaria** que es especialmente importante [4].

Esta vía recorre desde los núcleos cocleares hasta la corteza auditiva. Los axones de las neuronas del núcleo coclear ventral se proyectan hacia la oliva superior de ambos lados del tronco encefálico. Los axones de las olivas superiores ascienden por el lemnisco lateral, inervando el colículo inferior del mesencéfalo. Las neuronas del colículo mandan axones al cuerpo geniculado medial del tálamo que, a su vez, se proyecta hacia la corteza auditiva, donde finalmente se procesará el sonido (Fig.11) [4].

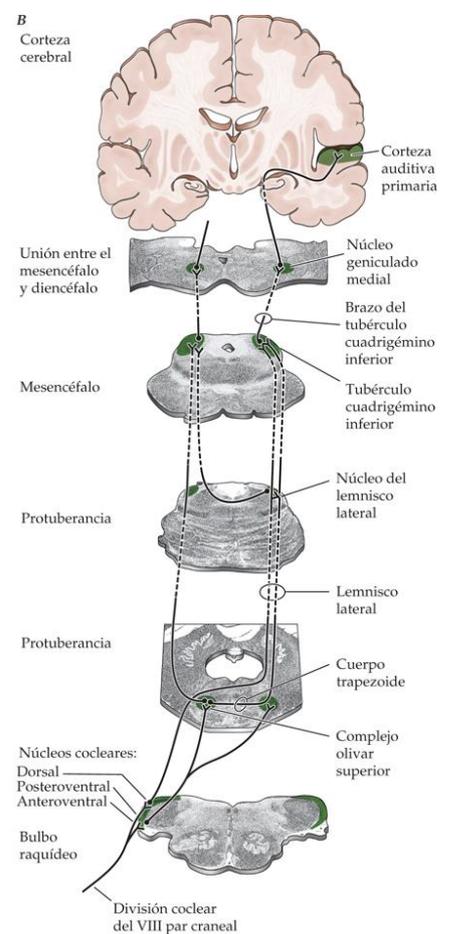


Figura 10. Vías auditivas (Neuroanatomía texto y atlas. John H. Martin).

Tonotopía: codificación de la frecuencia sonora

La capacidad de distinguir la altura o tono de un sonido, provocado por una determinada frecuencia, se debe a la organización tonotópica del sistema auditivo.

El término **tonotopía** describe la representación espacial de las frecuencias o la organización sistemática basada en las frecuencias (Fig.12).

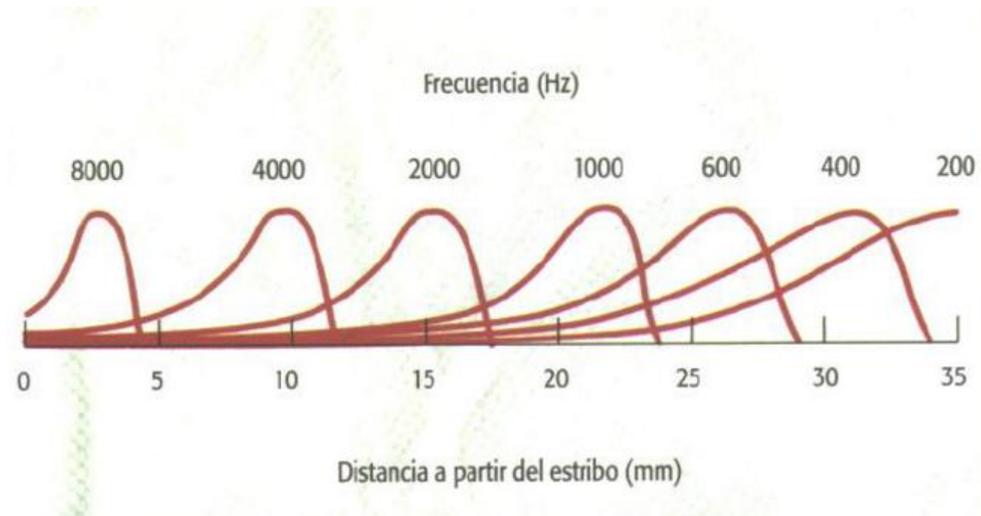


Figura 11. Representación del concepto de “onda viajera” que consiste en el desplazamiento de la cóclea por cambios de presión. Patrones de amplitud máxima o puntos de resonancia máxima sobre la membrana basilar para las distintas frecuencias (Guyton, A.C. Anatomía y fisiología del sistema nervioso, imagen a su vez extraída del artículo “El sistema auditivo y su organización tonotópica” escrito por Selene Cansino).

Esta representación espacial es consecuencia de que las células ciliadas respondan de forma específica a una determinada frecuencia. Las neuronas de la vía auditiva también experimentan dicha especificidad y lo mismo ocurre en la corteza auditiva primaria y la corteza auditiva asociativa [39].

En el ganglio espiral de la cóclea comienza la vía auditiva, lugar en el que se localizan las protoneuronas o neuronas sensoriales primarias. El **nervio auditivo**, a su vez, tiene su origen en las neuronas del ganglio espiral coclear, desde el ápex, es decir, cerca del helicotrema, hacia la base (Fig.13) [4].

El nervio auditivo se estructura en distintas capas: las más profundas provienen del ápex (Fig.13, en rojo) y están envueltas por las fibras de la espiral media (Fig.13, en verde); las fibras periféricas tienen su procedencia en la base (Fig.13, en azul). Por todo esto la tonotopía se mantiene en el nervio auditivo [46].

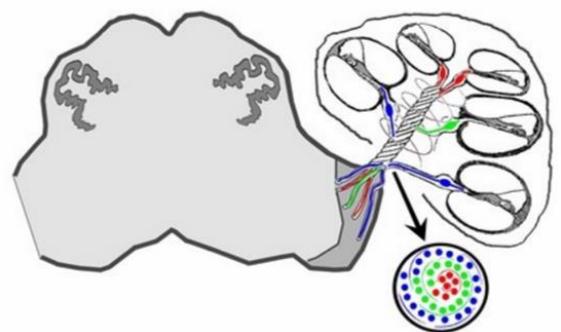


Figura 12. Tonotopía de las vías auditivas (www.centroausitivo-valencia.es).

Toda la información recogida por las células ciliadas se dirigirá, a través de fibras neuronales aferentes, hacia el córtex auditivo, donde también existe, como hemos mencionado anteriormente, especialización tonotópica, de modo que las frecuencias graves activan un área de la corteza localizado más lateralmente que el área que estimulan las frecuencias altas (Fig.14) [45].

Tanto en la corteza auditiva primaria como en la corteza auditiva asociativa, existe un mapa tonotópico (Fig.14), lo que implica la existencia de una relación logarítmica aproximada entre el incremento de la profundidad del origen de la actividad y el aumento en la frecuencia de los tonos [39].

La organización tonotópica se mantiene en la proyección auditiva hasta la corteza



Figura 13. Organización tonotópica de la corteza auditiva (www.centroauditivo-valencia.es).

La corteza auditiva

A lo largo de la evolución, el sistema nervioso de los metazoos ha tendido a la centralización y a la encefalización. Es decir, las neuronas tienden a agruparse formando ganglios que controlan determinadas funciones del organismo; asimismo, algunos de esos ganglios se especializarán aún más y controlarán el resto de ganglios y funciones. Esta organización neuronal resultará finalmente en una especialización aún mayor de los ganglios que se localizan en las estructuras anteriores, como la cabeza, para formar los sistemas más complejos que desembocan en el actual sistema nervioso central de vertebrados (encéfalo y médula espinal).

El **cerebro** es el órgano que controla la mayoría de funciones vitales del organismo. Recibe información externa e interna desde fibras aferentes conectadas a estructuras receptoras y la integra para elaborar una orden. Después envía esta información, a través de fibras eferentes, a las estructuras corporales correspondientes para que actúen en consecuencia.

El sistema nervioso central de vertebrados tiene especializaciones que otros grupos de animales no poseen, como la zonación de la corteza en distintas funciones: visual, sensorial, auditiva, emocional, lingüística... (Fig. 15).

La corteza auditiva ocupa un 8% de la superficie total y se localiza en la zona temporal del cerebro. Se divide en corteza auditiva primaria y áreas auditivas secundarias. Anatómicamente podemos ver la corteza auditiva primaria y la secundaria concentradas en la misma zona, y por detrás de ella el área de Wernicke encargada de la comprensión lingüística. La corteza auditiva establece conexiones con otras regiones corticales como el lóbulo frontal correspondiente a áreas motoras que controlan el lenguaje: labios, mandíbula, lengua, laringe, así como el área de Broca, encargada de la

elaboración lingüística. Las neuronas de la corteza auditiva primaria y secundaria están íntimamente conectadas, organizándose funcionalmente en circuitos columnares. Estas columnas reciben señales de los cuerpos geniculados [44].

Existen dos **cuerpos geniculados**:

- **Cuerpo geniculado lateral:** transmite los impulsos visuales desde el tracto óptico hasta la corteza calcarina [43].
- **Cuerpo geniculado medial:** transmite los impulsos auditivos desde el lemnisco lateral hasta la corteza auditiva [43].

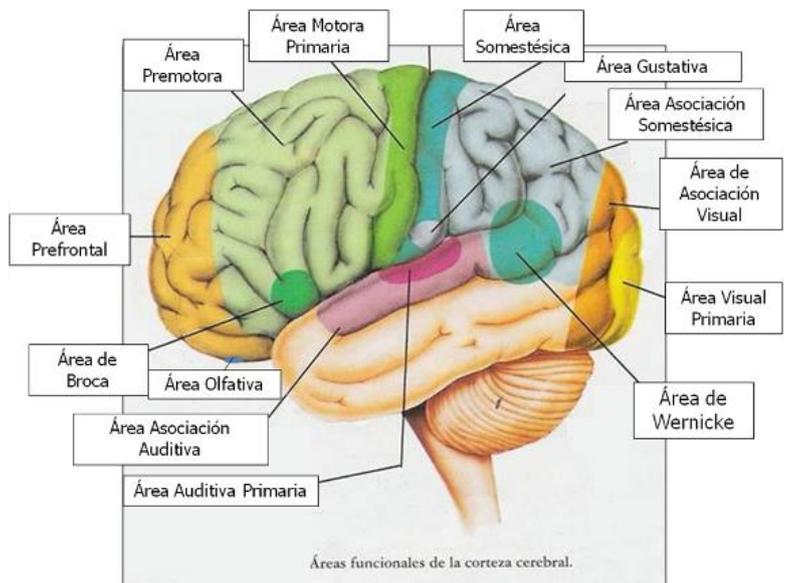


Figura 14. Áreas funcionales de la corteza cerebral (www.pinterest.com).

Las neuronas corticales que conforman las columnas corticales reciben señales de los dos cuerpos geniculados mediales, con la información de ambos oídos, por tanto son binaurales [44].

Las columnas corticales binaurales pueden ser de dos tipos:

1. **Sumatorias:** funcionan con actividad de sumación. Reciben aferencias simultáneas con información de ambos oídos pero con distinta frecuencia teniendo dominancia del contralateral. Tienen mayoría de conexiones binaurales [20].
2. **Supresoras:** funcionan con actividad de supresión. La codominancia es ipsilateral, uno de los oídos es dominante y las conexiones monoaurales predominan [20].

Cada una de las neuronas del cuerpo geniculado medial que proyectan a la corteza se ramifica mucho horizontalmente, conectando con varios tipos de neuronas como las piramidales. Estas conexiones permiten la amplificación de la señal procedente de la vía auditiva para el análisis óptimo de su información en la corteza [44].

La música y el hombre. ¿Creación artística o componente intrínseco de la naturaleza humana?

“Nadie necesita tener conocimientos musicales específicos o tener un don musical para disfrutar de la música y responder a ella a todos los niveles. La música es parte del ser humano, y no hay ninguna cultura humana en la que no haya sido desarrollada y admirada”.

-Oliver Sacks-

Se sabe que la música se origina a partir de señales emocionales. Sin embargo, aún se desconoce si es exclusivamente humana o si se ha desarrollado y evolucionado en distintas especies. En este sentido, existen distintas teorías al respecto. Así, la hipótesis de Pinker [33] llamada “la música es una tarta de queso” postula que la música no tiene una función adaptativa ni necesaria, sino que solo constituye una forma artística que hace la vida más llevadera. Kant, en una línea de pensamiento similar, fue incapaz de clasificar la música en su teoría de la mente ya que, según él *“al referirnos a las facultades que se perciben cognitivamente, la música ocupa el lugar más bajo dentro de las bellas artes (...) ya que solo juega con los sentidos”* [32]. Contrarios a que la música sea solo un mero entretenimiento, Charlton [9], Darwin [10], Kleinman [17], y Miller [21] han postulado, en distintos contextos históricos, que la música es seleccionada sexualmente y, por tanto, es crucial a la hora de elegir pareja. Por otro lado, la “hipótesis de los orígenes mezclados de la música” [2] dice que las raíces tempranas de la música pueden deberse a un sistema ancestral de señales afectivas común a muchos mamíferos sociables, y que posteriormente se desarrolló introduciendo emociones estéticas y proporcionando un entorno seguro para el aprendizaje auditivo, promoviendo la cohesión social y el bienestar [1]. Esto reforzaría la idea de la música como algo común a distintas especies.

Algunas de las hipótesis que se postulan pueden ser consecuencia de la forma en que el investigador perciba la música. Se piensa que Darwin padecía **amusia**, una pérdida o carencia congénita de la capacidad de realizar juicios estructurales sobre la música [35], lo que no limita la capacidad de disfrute al escuchar composiciones musicales. En su autobiografía, Darwin dice lo siguiente:

“Adquirí una gran afición por la música, y a menudo programaba mis paseos para oír el himno en la capilla del King’s College. Eso me proporcionaba un intenso placer (...) No obstante, tengo tan poco oído que no percibo ni un acorde disonante, no sé llevar el compás ni tararear correctamente; y es un misterio cómo es posible que la música me dé placer.”

Darwin afirmaba posteriormente en la misma autobiografía que a lo largo de los años fue perdiendo progresivamente no solo la sensibilidad a la música sino el placer hacia otro tipo de experiencias sensoriales, como observar paisajes que antes le resultaban bellos, ocasionándole esto tristeza. Este tipo de pérdida se ha podido observar en otras personas que padecen amusia, lo que indica que la pérdida de sensibilidad emocional se da en distintos campos. Otro caso que contrasta con el de Darwin sería el de Sigmund Freud, al que su amusia no le causaba perturbación alguna, afirmando que *“las obras de arte ejercen sobre mí un poderoso efecto, sobre todo literarias y escultóricas (...) Paso tiempo ante ellas intentando (...) explicarme a qué se debe su efecto. (...) Con la música soy incapaz de obtener placer alguno”*. Aunque por este testimonio podríamos concluir que Freud era amúsico, probablemente por no haber escuchado ningún tipo de música en sus primeros años de vida (imprescindibles en el desarrollo de la sensibilidad musical), algunos conocidos de su época que lo vieron emocionarse frente a una pieza musical afirmaron que esta falta de sensibilidad estaba más cercana a una resistencia a que algo que no entendía le provocara emociones incontrolables más que a una pérdida congénita del gusto musical.

La amusia es más común de lo que podamos pensar y es padecida por personas de todo tipo, sobre todo tras sufrir lesiones cerebrales. El resultado de recoger sus testimonios y de varios estudios científicos ha sido la certeza de que, según la investigadora Peretz [31] *“debe existir una arquitectura funcional especial subyacente a la interpretación emocional de la música”*, la cual podría permanecer intacta aún en casos de amusia [35].

Sin embargo, las mismas lesiones cerebrales que en unas personas provocan una pérdida selectiva de emoción musical, también pueden conducir justo a lo contrario en otras personas: el desarrollo de una musicofilia igualmente selectiva, una avidez inexplicable y surgida de la nada de escuchar y aprender música. Muchas veces el desarrollo de la creatividad es consecuencia de lesiones en el hemisferio cerebral dominante, aunque a veces aparece en personas que no sufren patología alguna, como resultado de desinhibiciones neurológicas, sociales o psicológicas. Todo esto sugiere la existencia de una base fisiológica propia y específica de la respuesta emocional, distinta de la receptividad emocional general [35].

La amusia es frecuente en personas que sufren el síndrome de Asperger mientras que en personas con otros tipos de autismo ocurre lo contrario, siendo la música una forma de poder conectar con ellos más fácilmente [35], constituyendo esta una herramienta utilísima en tratamientos médicos como la musicoterapia. Las personas afectadas por el Síndrome de Williams presentan una inhibición de muchas capacidades cognitivas mientras que sus capacidades sociales, narrativas y

musicales se encuentran altamente desarrolladas [5] ya que, a pesar de tener una menor capacidad cerebral, poseen redes neuronales muy desarrolladas en los lóbulos temporales.

La utilización de la música como terapia se debe a que induce emociones estéticas (puramente bellas) proporcionando un ambiente seguro que facilita el aprendizaje auditivo, promueve la cohesión social y mejora la salud fisiológica y psicológica. Además, la música requiere muchas de las habilidades necesarias en el lenguaje [29] y puede haber evolucionado junto al lenguaje de forma simultánea [8].

Distintos investigadores como Juslin y Västfjäll [16] y Levitin [19] proponen que la música ha evolucionado a partir de la comunicación emocional entre individuos y que cada uno de los componentes musicales del discurso proporcionan un fiel reflejo de las emociones que se quieren transmitir al receptor [1]. Otras líneas de investigación proponen que detrás de la música hay mucho más que una mera comunicación veraz de las emociones [2].

Puede que la música haya surgido accidentalmente a lo largo de la evolución, como resultado de un sistema auditivo complejo que necesita procesar los sonidos del habla para poder comunicarse. Pero también podría ser una adaptación de los humanos modernos y haber evolucionado después de la separación filogenética, o tal vez podría haber aparecido en mamíferos no humanos pudiendo ser un carácter ancestral compartido con otras especies [1]... la respuesta es aún incierta y puede que los estudios futuros arrojen luz sobre todas las preguntas que aún debemos resolver.

¿Es la música una habilidad cognitiva adaptativa?

Darwin [10] y Miller [21] sugieren que la música actúa en la selección sexual ya que los machos la utilizan para competir por las hembras. Esto ha sido corroborado por algunos estudios como el de Charlton [9] que descubrió que las mujeres en fase ovulatoria muestran unas preferencias a corto plazo de emparejarse con hombres a los que se les atribuye la composición de música compleja.

A pesar de considerar la música importante en la selección sexual, como precursora del lenguaje y como modo de cortejar al sexo contrario para conseguir una pareja reproductora, Darwin también duda sobre su eficacia a la hora de obtener recursos y la supervivencia, ya que su ejecución conlleva un gran gasto de energía y puede llamar la atención de depredadores. A menos que la pareja potencial sea receptiva a la música, esta no tendría casi una función clara y no tendría por qué mantenerse a lo largo de la evolución [3]. Científicos actuales afirman que la incuestionable atracción que sentimos los humanos hacia canciones de amor es una continuación de lo que sentían nuestros antepasados cuando se interpretaban melodías que pretendían ser seductoras para aquel o aquella posible pareja futura que elegían como objetivo de su cortejo [48].

Desde una perspectiva distinta, la música podría considerarse un subproducto de otras adaptaciones (como el lenguaje), y no adaptativa en sí misma [1]. Sin embargo, existen evidencias de que las actividades neuronales vinculadas a la música y el lenguaje se hallan en zonas del cerebro distintas y ninguna de ellas tiene una prioridad cognitiva sobre la otra, lo cual evidencia un desarrollo paralelo de ambas que indicaría que la musicalidad humana no es una mera derivación del lenguaje [3; 22].

Owren y Rendall [24] estudiaron las señales animales y comprobaron que las señales emocionales pueden provocar respuestas y estados emocionales en otros animales, pudiendo esto desembocar en una cohesión social de grupo en la que los distintos componentes comparten emociones, incrementando esto la cooperación en el grupo. Precisamente, Mithen [22] sugirió la música como medio de cohesión social en nuestros ancestros.

Además, las señales emocionales pueden influir en la cognición y tener efectos en la fisiología y el sistema neuroendocrino del que escucha: cuando los miembros de un grupo cantan una canción a la vez, se observa que cooperan en mayor medida con otros [1].

La utilización de música en la docencia y el aprendizaje permite la introducción e integración de términos lingüísticos en una canción, facilitando la retención y memorización de términos académicos, como demostraron Panksepp y Bernatzky [27] en un estudio que hacía patente la mejora de asimilación, por parte de los estudiantes, de conceptos neuroanatómicos. La incorporación de un discurso a la música puede mejorar su memorización. Además, si el escuchar cierta pieza musical nos provoca alguna emoción concreta, esta puede influenciar nuestra memoria y hacernos recordar ciertos recuerdos tristes, felices o pertenecientes a otra emoción, mientras escuchemos esa música [28] lo que puede ser útil en terapias de distinto cariz médico.

¿Está presente la música en la filogenia?

Si la música influye en procesos fisiológicos que implican una mejora de la salud mental y física, estos podrían considerarse consecuencias de funciones adaptativas importantes. Además, tiene otros efectos que no pueden considerarse adaptativos porque aún hoy siguen existiendo como problemas en el hombre: reduce la ansiedad y el dolor e incrementa los niveles de oxitocina, reduce la depresión y la frecuencia cardíaca y, además, escuchar música modula la actividad de redes de estructuras implicadas en estimular la sensación de placer (en el cerebro) [1].

Este tipo de procesos también se dan en mamíferos no humanos: todos los pertenecientes a la clase *Mammalia* poseen sistemas neurológicos homólogos, así como patrones de actividad neurológica característicos y, por tanto, comparten numerosos procesos afectivos básicos que median en

funciones emocionales similares [26]. Por tanto, si los mamíferos compartimos emociones, es muy probable que todos tengamos sensibilidad, en distinto grado, a la música.

Estudios en animales confirman esta relación: la música reduce el estrés de las crías de rata solitarias recién nacidas lo que tiene un efecto similar a la inyección de hormonas sociales (prolactina y oxitocina) en el cerebro. Todo esto sugiere una continuidad de la música entre distintas especies ya que la música también incrementa los niveles de dopamina y norepinefrina en el cerebro; ambas hormonas están implicadas en procesos de atención y excitación, teniendo todo esto un efecto final de recompensa [1].

Sin embargo, como cabía esperar, distintos tipos de música, según su período de composición o su estilo, tienen efectos distintos sobre el que escucha. Por ejemplo, Mozart tiene un efecto de disminución sobre la tasa cardíaca mientras que Ligeti aumenta la presión sanguínea. Las composiciones de ambos compositores así lo demostraron en un experimento con ratas hipertensas. A pesar de esto, solo la música que abarcaba el rango de las vocalizaciones de las ratas era efectiva, lo que sugiere que el tipo de música que se pone a los sujetos de experimentación debe estar relacionado con su sistema auditivo para que esta ejerza un efecto sobre ellos [1].

Muchos estudios sugieren que la música desempeña un papel importante a la hora de inducir emociones y en la coordinación del comportamiento, aumentando las destrezas cognitivas, en provocar efectos fisiológicos beneficiosos y en cambios neuroquímicos positivos; por el contrario, hay otros estudios que demuestran que la música no provoca ninguno de estos efectos. Puede, por tanto, que otros aspectos musicales como el tempo, la armonía y la disonancia, el modo mayor y el menor, la duración de las notas y la familiaridad de la música escuchada influyan en los efectos antes mencionados [1].

No se tiene certeza de que existan homologías filogenéticas o un patrón de analogías convergentes en animales con respecto a los fenómenos musicales. Sin embargo, como se ha mencionado antes, sí existen evidencias de la existencia de circuitos neurológicos homólogos de producción de señales emocionales [1].

Hauser y McDermott [15] aseguran que los mecanismos de percepción musical en animales deben estar relacionados con mecanismos perceptuales similares y no con la música, ya que esta no existe en animales [1]. Estos mismos investigadores junto a otros afirman que hay una clara diferencia entre las regiones cerebrales que participan en la descodificación de sonidos que permiten la percepción musical y las consecuentes emociones y sensación placentera que evoca la música [6].

Otros estudios en animales (incluyendo a primates no humanos) no han podido demostrar que exista o no algún tipo de placer cuando se les somete a alguna actividad musical o percepción musical, a pesar de que los animales sí pueden someterse a condiciones de estrés si se une la música a otros parámetros [6].

Otros científicos como Fitch [12] opinan que el aprendizaje de canciones en pájaros, ballenas etc. es una convergencia de la música en humanos, mientras que el golpeteo rítmico de los simios puede ser una homología.

Patel [30] argumenta que cualquier aspecto de la cognición musical que se basa en las funciones cerebrales ha sido desarrollado para otros propósitos y no puede ser parte de la selección natural; sin embargo, también propone que especies cantoras puedan compartir con los humanos la habilidad de sincronizar su comportamiento cuando se produce un cambio del tempo musical, lo que indica un origen filogenético en la habilidad de marcar el tempo con golpes.

La música de las emociones, la emoción de la música

“La música da alma al universo, alas a la mente, vuelo a la imaginación y vida a todas las cosas”.

-Platón-

A veces, por circunstancias determinadas, un suceso nos influye de tal forma que un sentimiento interno se impone al resto. Alzándose por encima de todo lo demás, se interpone en nuestra mente, siendo prácticamente imposible que podamos pensar en otra cosa; las emociones que este despierta se desbordan y pueden aflorar a la superficie en forma de llanto, cólera, risa histérica, alaridos de dolor o la peor de todas las formas: el silencio más absoluto. Sin embargo, estos mismos sentimientos y emociones pueden ser despertados sin que nos haya acontecido algo en concreto que los produzca, y lo único que puede hacerlo es el arte, esa creación que nos distingue del resto de animales y que nos hace tan humanos. La capacidad casi mágica que tiene el arte de producir en nosotros emociones de la nada nos hace ir en busca de piezas artísticas de distinta naturaleza de forma constante, en una incesante y ávida búsqueda por salir de nuestra realidad, a veces demasiado cruda como para permanecer todo el tiempo en ella.

Todos los sentimientos son válidos: se puede disfrutar igual de la euforia que de la más honda tristeza, sin embargo, cada uno influirá en nosotros de distinta forma. Los artistas románticos crearon sus mejores obras estando invadidos por sentimientos oscuros, mientras que otros ven crecer su creatividad cuando la felicidad los gobierna.

De entre todas las artes, la música es la que con más fuerza nos lleva de un extremo emocional a otro. Solo hacen falta un par de acordes para transportarnos y olvidar el estado emocional en el que estábamos unos segundos antes. La música es la única de las artes que actúa directamente sobre las emociones y no a través de conceptos o representaciones [32]. Además, es inherente a todos los humanos; puede que no sepas dibujar o actuar, puede que no sepas bailar o incluso cantar, pero al igual que el cuerpo se mece de forma inconsciente al escuchar un ritmo, la mente se mece de forma aún más fuerte e incontrolable al escuchar una melodía y, a pesar de desafinar en la más horrible de las formas, nos arrancamos a cantar, silbar o tararear una melodía. Es tan fuerte su influencia, que podemos incluso rechazar escuchar una pieza en concreto porque nos provoque una sensación ingrata o nos recuerde algo que no queremos recordar o que, por el contrario, busquemos de forma recurrente una canción por lo que representa y nos hace sentir. Ponemos música en nuestra vida para acompañar nuestras vivencias. Nos ayuda a recordar momentos, tanto solitarios como conjuntos, e intensifica exponencialmente nuestras emociones.

A lo largo de los siglos, los compositores, sabedores del poder de la música, han intentado plasmar en sus obras lugares, diálogos, escenas, personas, colores, sensaciones e, incluso, los mismos sentimientos. Han existido distintas corrientes musicales, se han puesto normas a lo que debería hacerse y lo que no para que luego los compositores rompieran esas reglas y creasen otras nuevas o, simplemente, dejasen que la música fluyese de cualquier forma, libre, sin normas.

Pero, a pesar de todo lo anterior, no importa el compositor, no importan los instrumentos, ni la estructura armónica ni los patrones musicales, ni el modo ni la tonalidad, ni siquiera la aceptabilidad de una obra por el público... La música siempre despierta un sentimiento, distinto en cada persona, que consigue hacer aflorar las emociones.

Emociones humanas: ¿Expresión individual o universal?

“Existen sociedades sin escritura, pero ninguna sin música. Así como el lenguaje puede confundir, la música es una forma más veraz de transmitir información o emociones. No existe ninguna parte del cerebro que no se vea afectada por la música.”

-Stefan Koelsch-

Las emociones se definen como señales neuronales que conectan regiones cerebrales encargadas del instinto y de la conceptualización. Esta comunicación entre las necesidades instintivas y los mecanismos cerebrales de entendimiento y reconocimiento conceptual permite que se dé preferencia a aquellos objetos o situaciones que puedan satisfacer mejor necesidades vitales [32].

Existen dos formas de percibir, producir y responder a los patrones de sonidos musicales: la primera forma se refiere al significado emotivo de la música, y la segunda al significado conceptual. El significado emotivo es subjetivo y confuso, mientras que el conceptual es el resultado de la influencia lingüística y cultural, así como del contexto donde se esté produciendo la música [8].

Numerosas investigaciones han descrito estructuras musicales responsables de la transmisión de ciertas emociones [1]. Esto puede tener cierta base en la existencia de mecanismos innatos de armonía musical [32]; a partir de los 4 meses los bebés pueden distinguir entre sonidos consonantes (distintos sonidos que suenan a la vez y que son percibidos de forma placentera) y disonantes (sonidos que al sonar simultáneamente dan una sensación incómoda o desagradable).

Algunos científicos hipotetizan que el origen de la música podría tener su base en la evolución genética, ya que es innata, tiene un dominio cognitivo específico y es exclusivamente humana; además, existen evidencias que avalan una predisposición biológica musical y algunas habilidades musicales son controladas por mecanismos innatos. Muchas de estas habilidades no son adaptaciones musicales sino mecanismos que participan en otras funciones. La música puede considerarse un dominio cognitivo moldeado por la selección natural, aunque es difícil saber si se puede considerar una adaptación o una exaptación (estructuras que actualmente se utilizan para las habilidades musicales pero que fueron originadas para otras funciones) ya que ambas son producto de la genética y de la experiencia, por tanto, deberíamos considerar la música como una adaptación sólo si contribuye a la supervivencia [32].

Se cree que la música y el habla están íntimamente unidas; así la escala cromática tiene una distribución con picos de frecuencia similares a las existentes en el habla. Todo ello es resultado de las resonancias del aparato vocal humano, lo que implica una coevolución del habla y la música [1]. La evolución del lenguaje necesita una reorganización de los circuitos neuronales que controlan el tracto vocal, un control que tornará en una mayor voluntariedad para el lenguaje. Simultáneamente, un control menos voluntario, originado en regiones cerebrales ancestrales de control emocional como la amígdala o la glándula pituitaria, tiene que mantenerse para que la música pueda seguir transmitiendo señales emocionales sinceras [32].

La música es una herramienta comunicativa con características opuestas: es semántica pero, a diferencia del lenguaje, su fin es incrementar el sentimiento de intencionalidad compartida. La música tiene una función mayoritariamente social, sin un objetivo concreto. No tiene una intencionalidad o fin último, lo que da lugar a que cada persona interactúe con ella de distinta forma y la utilice para distintos propósitos, adquiriendo distinto significado [32].

También se ha considerado la música como una capacidad comportamental y motivacional. Fenómenos evolutivos naturales han conducido a una ritualización de la música a través de la formalización, repetición, exageración y la elaboración. Todo este ritual ha desembocado en la formación y configuración de las emociones. Este proceso comienza cuando se da interacción entre el bebé y su madre, proceso que se acentúa cuando la progenitora altera su voz y exagera sus expresiones faciales y movimientos corporales para hacerle llegar el mensaje a su bebé, reforzando los lazos emocionales. Este comportamiento protomusical sienta la base de convenciones culturales utilizadas en rituales ceremoniales que los humanos utilizan para unir individuos dentro de un grupo. Todo esto sugiere que existe una propensión neurológica amodal en los humanos para responder cognitivamente y emocionalmente a los patrones de dinámica temporal producidos por otros humanos para promover la filiación [32].

La combinación de estas adaptaciones se vio biológicamente promovida por el bipedalismo, lo que aumentó el tamaño cerebral, y la altricialización (alejamiento de los linajes), lo que garantizó una mayor supervivencia. La investigadora Dissanayake afirma que por todo esto el comportamiento protomusical produce unas emociones tan fuertes y activa áreas cerebrales que participan en mecanismos ancestrales de motivación y recompensa. Precisamente las mismas áreas que están implicadas en la satisfacción de los instintos primitivos como el hambre y el sexo [32].

Levitan sugiere que la música tiene su origen en señales animales cuya función es comunicar emociones. Esta habilidad de transmitir y percibir emociones es la base de la inteligencia emocional. Las emociones nos motivan a actuar y las conexiones neuronales que permiten esto son bidireccionales: la acción y el movimiento provocan emociones. La emoción y la motivación están íntimamente unidas: *“Es más difícil fingir en la música que en el lenguaje”* [32].

Se puede considerar la **prosodia**, es decir, la entonación al hablar, como otra forma de música. Se ha visto que detectamos mejor las señales emocionales gracias a la entonación y el énfasis con los que acompañamos a las palabras:

- Palabras o llamadas cortas y de volumen alto provocan en el oyente una excitación en aumento [1]. Utilizados para demostrar felicidad, euforia...
- Una entonación en descenso acompañada de sonidos largos y ritmo lento tiene un efecto calmante [1]. Se utilizan para apaciguar, conciliar, persuadir...
- Una sola nota plosiva (sonidos también denominados oclusivos, emitidos cuando en el habla el aire se obstruye en la cavidad bucal y se expulsa posteriormente de golpe, produciendo un

sonido fuerte) es capaz de detener el comportamiento del oyente al que va dirigida [1]. Estos sonidos expresan rabia, intimidación, enfado, autoridad, alerta ante un peligro...

Gómez y Danuser [13] hicieron un estudio sobre la relación entre las emociones provocadas por la música y la respuesta fisiológica a ella y observaron que entre distintas culturas, a pesar de lo diferente de sus músicas, aparecen estructuras similares que provocan las mismas emociones de felicidad, tristeza, miedo y rabia. Tanto los músicos como aquellas personas que no tienen una formación musical pueden identificar las emociones transmitidas por las notas de una composición musical.

La tristeza, según Scherer [36], se transmite a través de un tempo lento (velocidad del pulso musical), un rango de frecuencia estrecho, una bajada del tono y una baja tasa de articulación.

La alegría, por el contrario, se transmite mediante el uso de tempos rápidos, usando un mayor número de tonalidades en la composición, variándolas mucho, y con altas tasa de articulación (ritmos variados).

Snowdon y Teie [41] hipotetizaron que las estructuras armónicas y los tonos exactos estaban asociados con estadios positivos, mientras que las estructuras disonantes estarían asociadas con agresión, miedo y defensa. Los sonidos cortos provocan excitación, mientras que el *legato* (término musical referido a una interpretación ligada o de sonidos unidos entre sí al ser tocada una melodía u otra estructura musical) provoca calma. Los ritmos regulares están asociados con estados o eventos positivos pero los irregulares se asocian a lo contrario.

La música es un instrumento de cohesión social, probablemente fruto de la necesidad de comunicarse entre humanos para socializar, defenderse y sobrevivir, para evolucionar y llegar hasta nuestros días. Puede que en el pasado existieran patrones musicales creados por nuestros ancestros a partir de ciertos sonidos para advertir la presencia o ausencia de peligros, así como patrones que entrañaban una llamada, lo cual podría haber dado lugar posteriormente a la música [34] y a la similitud de patrones entre distintas culturas.

Estos patrones se observan en distintos idiomas cuando los adultos intentan comunicarse con bebés [1] o personas que no entienden el idioma y tienen que recurrir a un lenguaje onomatopéyico que transmita de forma sencilla y corta la información.

Ciertas áreas cerebrales humanas que distinguen entre las emociones positivas y negativas, así como en cerebros de animales, parecen ser las mismas y pueden ser activadas incluso si el humano no es capaz de hacer una discriminación consciente de las llamadas afectivas de otras especies. Con el tiempo, los humanos pueden distinguir los sonidos animales (que transmitan sentimientos de

tristeza o alegría) si viven con ellos o pasan tiempo juntos [1]. Esto puede plantear distintas preguntas: si se demuestra que compartimos emociones con otras especies, ¿es posible que también existan patrones musicales que provoquen las mismas emociones en especies distintas? Y, sobre todo, ¿la música es exclusivamente humana o la compartimos con otras especies que, simplemente, aún no la han desarrollado? Si se encontrara la respuesta a estas dos preguntas, tal vez la música podría conseguir, como ha hecho muchas veces, unirnos un poco más con los animales y entender que no somos tan distintos a ellos.

Efectos de la práctica musical en la organización de la estructura cerebral

La práctica musical en la infancia tiene efectos estructurales y funcionales en la organización del cerebro que dotan al músico de ciertas estructuras distintivas de aquellos que no han estudiado música. Algunas de las diferencias más significativas son las siguientes:

- **Cuerpo calloso:** es la comisura que conecta ambos hemisferios cerebrales. Se ha visto que es más grande en músicos profesionales [37] y dentro de éstos lo tienen más grande aquellos que empezaron a estudiar música antes de los 7 años [1].
- **Regiones corticales motoras:** la profundidad del surco central, marcador del tamaño de la corteza motora primaria, es grande en ambos hemisferios, pero es aún más pronunciada en el hemisferio derecho de músicos, algo que puede ser consecuencia de los años de práctica motora con la mano no dominante [1].
- **Sustancia gris del cerebelo y áreas corticales cerebrales motoras, visuoespaciales y auditivas:** sufren un agrandamiento bastante visible cuando se toca un instrumento [35].
- **Tronco cerebral:** es una estructura encargada de mecanismos sensoriales básicos. Se ha registrado una reacción de hasta 10 milisegundos más rápida en el tronco cerebral de músicos al responder a estímulos musicales y lingüísticos [35].

Existe, por tanto, una correlación positiva entre los cambios anatómicos en el tamaño de las estructuras cerebrales y la edad a la que se empieza la práctica musical, así como con la intensidad de la práctica y la frecuencia de ensayo. El cerebro de un músico profesional es fácilmente identificable mediante resonancias magnéticas, algo que no ocurre con cerebros de profesionales de otra índole [35].

Algunos músicos poseen una capacidad maravillosa: el **tono absoluto**. La capacidad de poder saber de forma instintiva e inmediata, sin necesidad de reflexión, análisis o comparación, la nota que emite un sonido, ya sea un zapatazo en el suelo, el pitido de un despertador o el crepitar del fuego.

Se ha demostrado que esta capacidad es innata en bebés y que se vuelve adaptativa en la infancia, pero al entrar en la fase adulta se torna inadaptativo y se pierde. Esta pérdida se debe a que es necesario que se inhiba el tono absoluto para que se desarrolle el lenguaje y solo se mantiene en determinadas circunstancias, como en aquellos individuos cuyo idioma es tonal, es decir, tiene una mayor prosodia, como el chino. Aquellos individuos que poseen tono absoluto tienen un ensanchamiento asimétrico en el plano temporal del córtex auditivo, lo que los distingue de otros músicos. La posesión de tono absoluto depende mucho de una educación musical temprana; sin embargo, tener preparación musical no garantiza tener esta capacidad [35].

Si usted no es músico y está leyendo esto, lo más seguro es que le asalte un sentimiento de desasosiego al ser consciente de que, tal vez, hubiera podido desarrollar capacidades cerebrales de haber estudiado música. Si esto es así, no se apure. Nunca es tarde para aprender a tocar un instrumento. Le diré más; se ha demostrado que el cerebro presenta una plasticidad casi inmediata a la práctica musical. El córtex motor presenta cambios después de realizar ejercicios de piano para cinco dedos y, además, se produce un incremento de actividad en los ganglios basales y en el cerebelo, así como en distintas partes del córtex cerebral, tanto si se realiza la práctica de forma física como si se hace de forma mental [35].

Un entrenamiento intensivo musical puede conducir a modificaciones en la estructura y función del cerebro en etapas de desarrollo cerebral pero también puede inducir cambios plásticos en cerebros adultos, ayudando a preservar zonas de sustancia blanca y gris incluso en la vejez, etapa en la que se pierden ciertas funciones cerebrales [7; 40]. Su influencia se extiende también a estructuras corticales y subcorticales.

Ser activos musicalmente tiene numerosas ventajas: mejora fuertemente la unión percepción-acción mediada por las regiones cerebrales sensoriales, motoras y multimodales, y también afecta positivamente a zonas importantes de transmisión sonora situadas en el tronco encefálico y el tálamo. Además, someterse a terapias musicales puede reparar procesos neurales dañados o conexiones neurales mediante la unión de regiones cerebrales [1].

Musicoterapia: cuando la música ayuda a curar

En las últimas décadas los avances en medicina se han visto incrementados de forma exponencial. Tenemos acceso a terapias novedosas cada vez más especializadas que erradican eficientemente numerosas enfermedades o que ayudan a sobrellevarlas, aumentando la esperanza de vida. Sin embargo, puede que muchas personas desconozcan que la música es objeto de investigación en la

medicina y que puede utilizarse para todo tipo de afecciones: desde tratamientos paliativos hasta terapias anticancerígenas, siempre como apoyo a los métodos farmacológicos.

La utilización de música en tratamientos médicos conlleva múltiples beneficios [42]:

- **Fisiológicos:** modula la velocidad de distintas funciones orgánicas como el metabolismo, disminuye la presión sanguínea, mejora la respiración, reduce la tasa cardíaca, relaja la presión muscular etc. [47]. Además actúa sobre el sistema nervioso central y periférico [42].
- **Psicológicos:** provoca emociones, estimulando los sentidos y facilitando la actividad mental, lo que contribuye a disminuir la ansiedad y la percepción del dolor, mejorando el estado anímico y la receptibilidad a interacciones sociales y terapias.
- **Intelectuales:** desarrolla la capacidad de atención y estimula la creatividad. Ayuda a desarrollar la memoria tanto a corto como a largo plazo y facilita el aprendizaje.
- **Sociales:** estimula la interacción entre individuos, mejorando las relaciones sociales en personas con deficiencias y facilitando la expresión emocional a través de la comunicación no verbal. Todo esto establece y refuerza relaciones interpersonales.

Existen distintas formas de implementar la terapia, pudiendo el paciente interactuar con la música (musicoterapia activa, creativa) o limitarse a escucharla (musicoterapia pasiva, receptiva). A veces se complementan ambas metodologías. Así, se utilizan distintos aspectos musicales en función de los resultados que queramos obtener [25]:

- **Sonoterapia:** se aplica en personas con disfunciones cognitivas, afectivas, psicomotrices y con trastornos de personalidad. Consiste en la utilización de la voz y/o instrumentos musicales para generar determinadas vibraciones que incidan sobre el paciente [25].
- **Ritmoterapia:** utiliza ritmos para desarrollar la audición, la capacidad motriz, la concentración y relajación así como la creatividad y capacidad analítica [25].
- **Terapia con la voz:** se utiliza el instrumento humano, necesario para la comunicación y expresión de la persona, como forma de influir en el desarrollo cognitivo y afectivo. También ayuda a mejorar problemas respiratorios [25].
- **Danza:** mejora la capacidad de coordinación motriz-respiratoria y ayuda a la expresión emocional mediante la expresión corporal en personas reprimidas o deficientes [25].

La introducción de música en los hospitales ha mejorado la resistencia al dolor y ha proporcionado la preparación mental necesaria para enfrentarse a tratamientos médicos invasivos, como la

quimioterapia o la radioterapia, ayudando así a sobrellevar la enfermedad en muchos pacientes. La fortaleza mental es algo indispensable en una recuperación y la selección de obras y terapias musicales adecuadas para cada caso es fundamental para obtener resultados más rápidos y positivos. Además, es una metodología muy barata y accesible a todo el mundo. Por ello se debe seguir invirtiendo en este campo y en la formación de profesionales, para que forme parte del proceso terapéutico. ¿Quién dijo que el arte no es indispensable para la salud?

Conclusiones

Tras toda la búsqueda bibliográfica que ha supuesto la realización de este trabajo, se han encontrado numerosas evidencias que demuestran que la música es parte de la naturaleza humana y que no solo contribuye a nuestro disfrute personal, sino que además es clave en el desarrollo de numerosas estructuras cerebrales y capacidades de distinta naturaleza. El estudio futuro de la música en colaboración con otros muchos campos de investigación podría contribuir a la comprensión de la mente humana y, sin duda, a una mejora de las técnicas médicas y de aprendizaje, mejorando así la calidad de vida. Espero que este trabajo haya contribuido un poco al conocimiento de este arte singular y haber abierto la curiosidad de los lectores por el aprendizaje y búsqueda de distintas formas musicales, ya que, como bien dice el maravilloso divulgador musical Ramón Gener (con su permiso, cambiando la palabra *ópera* por *música*) “*la música es la vida, y compartida, siempre es mucho mejor*”.

Así que si siempre quiso estudiar música pero las circunstancias de la vida se lo impidieron, solo tiene que dar el paso. Su cerebro está preparado para responder a la música. Al contrario que la adquisición del lenguaje, la no adquisición de aprendizaje musical a una edad temprana no merma en gran medida su capacidad de desarrollar su musicalidad [35]. Tal vez sea un genio musical y no lo sepa, y esté usted privándonos de su enorme talento... No lo desperdicie. Sería una pena.

Propuesta de investigación: la fina línea entre sentir emociones y sufrirlas

A lo largo de la historia, catorce directores de orquesta han sufrido ataques al corazón mientras dirigían obras musicales y, como consecuencia de ello, han muerto en el acto o brevemente después.

Dentro de estos, más de la mitad estaban dirigiendo una composición operística y, para más inri, dos de ellos colapsaron durante la representación de la misma ópera: *Tristán e Isolda*, de Wagner. Estos dos personajes fueron Felix Mottl en 1911 y Joseph Keilbert en 1968, ambos estando sobre el escenario de la Ópera de Munich y perdiendo la consciencia en el mismo momento [18].

El infame pasaje musical en el que se produjeron ambos ataques cardíacos fue el segundo acto, en el que los dos protagonistas cantan un dúo de amor que mantiene al público en vilo, una sucesión de acordes que no terminan de resolver en uno sonoramente satisfactorio, aumentando poco a poco la tensión del escuchante, que espera ansioso el momento en que llegue el final, que parece no llegar nunca y que finalmente se produce de forma abrupta (aun así sin terminar de resolver) por la interrupción del criado de Tristán, que le insta a salvarse justo antes de que los dos amantes sean descubiertos.

Las óperas de Wagner son conocidas por su vasta extensión y dificultad técnica. Requieren músicos especializados en ellas para poder ser interpretadas correctamente. Durante una ópera, los directores de orquesta se ven forzados a permanecer de pie durante el tiempo que dure cada acto y, además, están en constante movimiento para coordinar a todos los músicos participantes, lo que requiere un esfuerzo físico y mental notable. El hecho de que se hayan producido dos muertes en la misma ópera alemana, sugiere un estudio sobre si los directores se vieron avocados a la catástrofe por el esfuerzo físico derivado de la dirección o si sus fallecimientos tienen una causa emocional debida a los sentimientos que despierta la propia música de Wagner. El estudio que se plantea es el siguiente:

1. Establecer dos grupos de estudio: el **grupo A** formado por individuos adultos occidentales sanos, tanto músicos como no músicos, de distinto sexo y edad. El **grupo B** estaría formado exclusivamente por directores de orquesta, tanto hombres como mujeres, quienes tienen una amplia formación musical.
2. Cada individuo del grupo A se clasificaría en las categorías siguientes:
 - a. Formación musical o ausencia de ella.
 - b. Género masculino o femenino.
 - c. Grupos de edad (opcional).

Se aplicarían los siguientes criterios de exclusión: niños (aún no tienen el cerebro completamente desarrollado) individuos enfermos, con demencias, trastornos mentales (autismo, síndrome de Williams...), capacidades sensoriales especiales (sinestesia¹, amusia, etc.) y personas pertenecientes a etnias distintas de la europea o norteamericana (occidental) ya que la cultura varía la percepción y el gusto musical.

¹ Fenómeno sensorial de percepción de sensaciones por dos o más sentidos a la vez. Por ejemplo: sentir sabores al escuchar ciertas palabras o ver colores al escuchar sonidos.

Los directores de orquesta del grupo B serán divididos en función de la edad, el sexo y su especialización en dirección de obras de Wagner.

3. En ambos grupos se medirán las siguientes constantes vitales mientras escuchan música:
 - a. Pulso cardíaco y presión arterial.
 - b. Frecuencia respiratoria y saturación de O₂.
 - c. Medida de la actividad cerebral mediante un encefalograma.
4. Los integrantes de **grupo A** realizarán solo escuchas pasivas del dúo de amor del segundo acto (*Liebesnacht*), hasta su posterior interrupción (*Rette dich Tristan!*). Tras la primera escucha se someterán a una segunda, para ver si el factor sorpresa también influye en la reacción fisiológica. Aquellos que hayan escuchado el pasaje antes solo tendrán que someterse a una escucha que se clasificará como la segunda.
5. Los directores de orquesta del **grupo B** se someterán a una escucha activa del pasaje, es decir, se les medirán las constantes mientras dirigen una orquesta en tiempo real, y se experimentará del mismo modo tanto con esta como con otras óperas de Wagner.
6. Finalmente se analizarán los resultados y se valorará la posibilidad de que el suspense armónico constante de las composiciones de Wagner pueda provocar efectos fisiológicos tan fuertes que puedan conducir a la muerte. Una muerte que la mayoría de artistas románticos buscaban, anhelaban y utilizaban como musa para sus creaciones más oscuras. Tal vez Wagner, puente entre el romanticismo y el posromanticismo, encontrara la forma de hacer realidad el encuentro que tantos ansiaban, la muerte como paso a una vida donde hallarían por fin todo lo que en esta no pudieron encontrar.

Bibliografía

1. Altenmüller, E., Finger, S., & Boller, F. (2015). *Music, neurology, and neuroscience: Evolution, the Musical Brain, Medical Conditions, and therapies*. Amsterdam: Elsevier.
2. Altenmüller, E., Kopied, R., & Oliver, G. (2013). A contribution to the evolutionary basis of music: Lesson from the chill response. In E. Altenmüller, S. Schmidt, & E. Zimmermann (Eds.), *Evolution of emotional communication. From Sound in Nonhuman Mammals to Speech and Music in Man* (pp. 313–335). Oxford: University Press.
3. Amodeo, M. R. (2014). Origen de la música como un rasgo adaptativo. *Revista Argentina de Ciencias Del Comportamiento*, 49–57.
4. Bear, M., Connors, B. & Paradiso, M. (2008). *Neurociencias: la exploración del cerebro*. Barcelona: Walters Kluwer.
5. Bellugi, U., Lichtenberger, L., Mills, D., Galaburda, A., & Korenberg, J. R. (1999). Bridging cognition, the brain and molecular genetics: Evidence from Williams syndrome. *Trends in Neurosciences*.
6. Berridge, K. C. (2003). Pleasures of the brain. *Brain and Cognition*. New York: Oxford University Press.
7. Boyke, J., Driemeyer, J., Gaser, C., Buchel, C., & May, A. (2008). Training-Induced Brain Structure Changes in the Elderly. *Journal of Neuroscience*, 28(28), 7031–7035.
8. Brown, S. (2000). The “musilanguage” model of musical evolution. In *The origins of music* (pp. 271–300).
9. Charlton, B. D. (2014). Menstrual cycle phase alters women’s sexual preferences for composers of more complex music. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1784), 20140403.
10. Darwin, C. (1871). The descent of man and selection in relation to sex, in Charles Darwin, *The origin of species and The descent of man* (combined volume). *Journal of Anatomy and Physiology*, 5(Pt 2), 363–372.
11. Delgado, J. M., Ferrús, A., Mora, F., & Rubia, F. J. (1998). *Manual de Neurociencia*. Madrid: Síntesis.
12. Fitch, W. T., & Fitch, W. T. (2006). The biology and evolution of music: a comparative perspective. *Cognition*, 100(1), 173–215.
13. Gomez, P., & Danuser, B. (2007). Relationships between musical structure and psychophysiological measures of emotion. *Emotion*, 7(2), 377–387.
14. Grewe, O., Nagel, F., Kopiez, R., & Altenmüller, E. (2007). Emotions over time: Synchronicity and development of subjective, physiological, and facial affective reactions to music. *Emotion*, 7(4), 774–788.
15. Hauser, M. D., & McDermott, J. (2003). The evolution of the music faculty: a comparative perspective. *Nature Neuroscience*, 6(7), 663–668.
16. Juslin, P. N., & Västfjäll, D. (2008). Emotional responses to music: the need to consider underlying mechanisms. *The Behavioral and Brain Sciences*, 31(5), 559–621.
17. Kleinman, K. (2015). Darwin and Spencer on the origin of music. is music the food of love? *Progress in Brain Research*, 217, 3–15.
18. Lebrecht, N. (1991). *¿Quién mató a la música clásica?* Madrid: Acento Editorial.
19. Levitin, D. J. (2008). This Is Your Brain on Music. *Neurology Today*, 8, 41.
20. Meza, G. (1995). *Neurobiología de los sistemas sensoriales*. Madrid: UNAM.
21. Miller, G. F. (2000). Evolution of Human Music Through Sexual Selection. *The Origins of Music*, 329–360.
22. Mithen, S., Morley, I., Wray, A., Tallerman, M., & Gamble, C. (2006). The Singing Neanderthals: the Origins of Music, Language, Mind and Body. *Cambridge Archaeological Journal*, 16(1), 97.
23. Nelson, E., & Panksepp, J. (1996). Oxytocin mediates acquisition of maternally associated odor preferences in preweanling rat pups. *Behavioral Neuroscience*, 110(3), 583–592.

24. Owren, M. J., & Rendall, D. (2001). Sound on the rebound: Bringing form and function back to the forefront in understanding nonhuman primate vocal signaling. *Evolutionary Anthropology*, 10(2), 58–71.
25. Palacios, J. I. (2001). El concepto de musicoterapia a través de la historia. *Revista Interuniversitaria de Formación Del Profesorado*, 42, 33–81.
26. Panksepp, J. (2004). *Affective Neuroscience: The Foundations of Human and Animal Emotions (Series in Affective Science)*. *Affective Science* (Vol. 4). New York: Oxford University Press.
27. Panksepp, J., & Bernatzky, G. (2002). Emotional sounds and the brain: The neuro-affective foundations of musical appreciation. *Behavioural Processes*, 60(2), 133–155.
28. Parrott, W. G., & Sabini, J. (1990). Mood and memory under natural conditions: Evidence for mood incongruent recall. *Journal of Personality and Social Psychology*, 59(2), 321–336.
29. Patel, A. D. ., & Lyon, B. (2008). Music, Language, and the Brain by Aniruddh D. Patel. *Psychomusicology*, 20(1), 182–187.
30. Patel, A. D., Iversen, J. R., Bregman, M. R., & Schulz, I. (2009). Studying synchronization to a musical beat in nonhuman animals. In *Annals of the New York Academy of Sciences* (Vol. 1169, pp. 459–469).
31. Peretz, I., & Gagnon, L. (1999). Dissociation between recognition and emotional judgements for melodies. *Neurocase*, 5(1), 21–30.
32. Perlovsky, L. (2010). Musical emotions: Functions, origins, evolution. *Physics of Life Reviews*. 7(1), 2-27.
33. Pinker, S. (1999). How the mind works. In *Annals of the New York Academy of Sciences* (Vol. 882, pp. 119–127).
34. Punset, E. (2011). Redes 105. Música, emociones y neurociencia.
35. Sacks, O. (2007). *Musicofilia. Relatos de la música y el cerebro*. Barcelona: Editorial Anagrama.
36. Scherer, K. R. (1995). Expression of emotion in voice and music. *Journal of Voice*, 9(3), 235–248.
37. Schlaug, G., Jancke, L., Huang, Y., & Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science*, 267(5198), 699–701.
38. Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., Staiger, J. F., & Steinmetz, H. (1995). Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia*, 33(8), 1047–1055.
39. Selene, C. (1999). El sistema auditivo y su organización tonotópica. *Ciencia Y Desarrollo*, 33–39.
40. Sluming, V., Barrick, T., Howard, M., Cezayirli, E., Mayes, A., & Roberts, N. (2002). Voxel-Based Morphometry Reveals Increased Gray Matter Density in Broca's Area in Male Symphony Orchestra Musicians. *NeuroImage*, 17(3), 1613–1622.
41. Snowdon, C. T., & Teie, D. (2013). Emotional Communication in monkeys: Music to their ears? *Evolution of Emotional Communication: From Sounds in Nonhuman Mammals to Speech and Music in Man*, 53, 133–151.
42. Yáñez Amorós, B. (2011). Musicoterapia en el paciente oncológico. *Cultura de Los Cuidados: Revista de Enfermería Y Humanidades*, 29,57–73.

Bibliografía web

43. Cuerpos geniculados. www.centralx.com
44. Journey into the world of hearing. www.cochlea.eu
45. Saera. Audiología. www.saera.eu
46. Tono topía. www.centroauditivo-valencia.es
47. American Music Therapy Association. What is Music Therapy? www.musictherapy.org/about/musictherapy/
48. Romantic reverberations. Jonathan L. Friedman. www.thinkingonmusic.wordpress.com