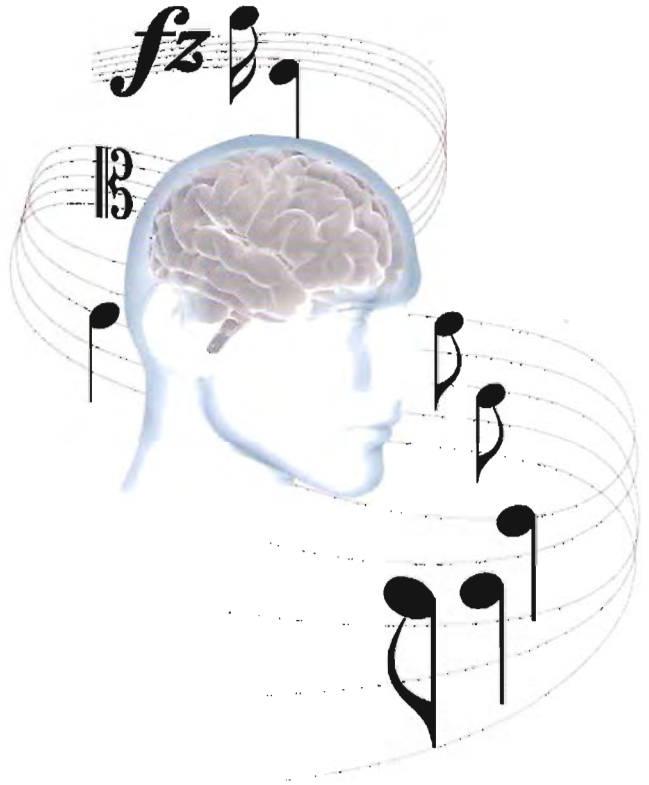


monografías

PSICOLÓGICA

Diego Alonso Cánovas  
Angeles F. Estévez  
Fernando Sánchez-Santed  
(Eds.)

## El cerebro musical



EDITORIAL  
UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

# EL CEREBRO MUSICAL

Editores:

DIEGO ALONSO CÁNOVAS  
ANGELES F. ESTÉVEZ  
FERNANDO SÁNCHEZ-SANTED

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA  
2008

Monografías  
Psicología. 3

El cerebro musical.

© del texto: los autores.

© de la edición: Editorial Universidad de Almería.  
Almería, 2008

Maquetación y Portada: BALAGUER VALDIVIA, S.L. - [gbalaguere@telefonica.net](mailto:gbalaguere@telefonica.net)

ISBN: 978-84-8240-870-5

Depósito Legal: AJ-174-2008

Imprime: ESCOBAR IMPRESORES, S.L. - EL EJIDO (Almería)

## RELACIÓN DE AUTORES

Alonso, Diego. Universidad de Almería.  
Bajo, M<sup>a</sup> Teresa. Universidad de Granada.  
Caminero, Ángel. UNED, Madrid.  
Cañadas, Fernando. Universidad de Almería.  
Carmona, Encarna. Universidad de Almería.  
Cubero, Inmaculada. Universidad de Almería.  
Daza, M<sup>a</sup> Teresa. Universidad de Almería.  
De Pablo, Juan Manuel. UNED, Madrid.  
Estévez, Angeles E. Universidad de Almería.  
Flores Cubos, Pilar. Universidad de Almería.  
Gómez-Ariza, Carlos J. Universidad de Jaén.  
Martínez, Lourdes. Universidad de Almería.  
Molina, Ismael. Universidad de Almería.  
Moreno, Margarita. Universidad de Almería.  
Muñoz, Catalina. Universidad de Almería.  
Nieto, Francisco. Universidad de Almería.  
Phillips-Silver, Jessica. McMaster University, Ontario, USA.  
Roldán, Dolores. Universidad de Almería.  
Sánchez-Santed, Fernando. Universidad de Almería.

# ÍNDICE

RELACIÓN DE AUTORES .....	7
ÍNDICE .....	9
PRÓLOGO .....	13

## LA MÚSICA: ASPECTOS GENERALES ..... 15

ISMAEL MOLINA Y CATALINA MUÑOZ

1. Antecedentes históricos .....	16
2. El sonido como materia prima de la música .....	17
3. Cualidades del sonido .....	18
3.1. Intensidad.....	18
3.2. Duración .....	19
3.3. Timbre .....	20
3.4. Altura o tono .....	21
4. Escalas .....	24
5. Tonalidad.....	29
6. Elementos del lenguaje musical .....	31
6.1. Melodía .....	31
6.2. Armonía .....	31
6.3. Ritmo-Merro-Tempo .....	31
6.4. Textura.....	34
7. Refetencias bibliográficas .....	35

## BIOLOGÍA EVOLUCIONISTA DE LA MÚSICA ..... 37

MARGARITA MORENO MONTOYA, JUAN MANUEL DE PABLO,

ÁNGEL CAMINERO Y FERNANDO SÁNCHEZ-SANTED

1. ¿Es la música un rasgo biológico? .....	38
2. Rasgos universales de la música: ontogenia y filogenia.....	39
2.1. Psicología comparada de la música.....	40

2.2. Arqueología de la música .....	43
2.3. Modularidad de la música.....	44
3. La música en la escala ontogenética.....	47
3.1. La capacidad musical de niños a adultos sin formación específica .....	48
3.2. Genética de la capacidad musical: el modelo de la frecuencia absoluta.....	49
3.3. La experiencia musical y el periodo crítico de desarrollo ....	50
4. La función biológica de la música: la musicalidad humana como rasgo adaptativo .....	52
4.1. ¿Para qué sirve la Música? .....	54
4.2. Música y selección sexual .....	56
4.3. Música y cuidado parental .....	59
4.4. Música y conducta social .....	60
5. Conclusión .....	64
6. Referencias bibliográficas .....	64

## LA PERCEPCIÓN MUSICAL..... 73

ENCARNA CARMONA Y M<sup>a</sup> TERESA DAZA

1. La música como evento perceptivo.....	74
2. Procesamiento auditivo de bajo nivel .....	76
3. Etapas superiores de procesamiento auditivo.....	80
4. Procesamiento de aspectos básicos del sonido.....	82
4.1. Procesamiento del Tono .....	82
4.2. Percepción de patrones sonoros complejos .....	84
4.3. Procesamiento del volumen.....	85
4.4. Procesamiento del Timbre.....	86
5. Modulación de los procesos cognitivos en la percepción musical .	87
6. Modelos modulares de la percepción musical .....	88
7. Referencias bibliográficas .....	92

## COGNICIÓN MUSICAL .....

CARLOS J. GÓMEZ-ARIZA Y M<sup>a</sup> TERESA BAJO

1. Introducción.....	97
2. Memoria para melodías.....	98
2.1. Contorno e intervalos .....	99
2.2. La dimensión temporal .....	101

2.3. Atención y procesamiento musical: el papel de los acentos .....	103
3. Tonalidad: jerarquías tonales y expectativas de sonoridad .....	104
3.1. Jerarquías tonales .....	104
3.2. Expectativas de sonoridad y <i>priming</i> armónico.....	105
3.3. La influencia del conocimiento musical más allá de la música .....	107
3.4. Expectativas de sonoridad y emociones .....	108
4. Memoria para música y texto .....	110
5. Procesamiento de música e imágenes.....	111
6. Ejecución musical .....	113
6.1. Interpretación .....	114
6.2. Planificación .....	115
Agradecimientos .....	116
7. Referencias bibliográficas .....	116

## MÚSICA Y EMOCIÓN..... 121

MARGARITA MORENO MONTOYA Y PILAR FLORES CUBOS

1. Estudio de la emoción en la música desde la Psicología .....	121
2. La emoción en la música desde la Neuropsicología.....	124
3. La musicoterapia.....	128
4. Conclusiones .....	131
5. Referencias bibliográficas .....	132

## MÚSICA Y LENGUAJE ..... 139

INMACULADA CUBERO, FERNANDO CAÑADAS Y FRANCISCO NIETO

1. Introducción: lenguaje, música y cerebro .....	140
2. Anatomía del lenguaje y la música: nociones básicas .....	141
3. ¿Un hemisferio musical y un hemisferio lingüístico? .....	142
3.1. Similitudes y diferencias en las redes neurales para la música y el lenguaje .....	143
3.2. Procesamiento Melódico.....	144
3.3. Procesamiento temporal de la música .....	146
3.4. Música, memoria y emoción .....	147
3.5. Tocar y cantar .....	148
3.6. Neuroimagen funcional y sistemas cerebrales de la música y del lenguaje.....	149

4. Cambios en nuestro cerebro en respuesta a la educación y el entrenamiento musical.....	152
5. Los trastornos psicopatológicos y la habilidad musical.....	155
6. Resumen final.....	157
7. Referencias bibliográficas.....	158

## LA APTITUD MUSICAL Y SU MEDIDA ..... 163

M<sup>a</sup> TERESA DAZA Y JESSICA PHILLIPS-SILVER

1. Introducción.....	163
2. La aptitud musical.....	167
2.1. Elementos Perceptivos.....	167
2.2. Elementos de Memoria.....	169
2.3. Elementos motores y ejecutivos.....	170
2.4. Elementos Emocionales.....	171
3. Factores ambientales que favorecen el desarrollo de la aptitud musical.....	172
4. Desarrollo y aptitud musical.....	174
5. Tests de aptitud musical.....	178
6. Referencias bibliográficas.....	179

## EFFECTO MOZART Y ENTRENAMIENTO MUSICAL ..... 185

ANGELES F. ESTÉVEZ, DIEGO ALONSO, DOLORES ROLDÁN  
Y LOURDES MARTÍNEZ

1. El efecto Mozart.....	186
1.1. Explicaciones alternativas.....	189
1.2. Otros estudios.....	191
2. Efectos del entrenamiento musical.....	195
3. Conclusiones.....	199
Agradecimientos.....	200
4. Referencias bibliográficas.....	200



## PRÓLOGO

En la primavera del año 2005, el profesor Diego Alonso expuso a un grupo de profesores de la Universidad de Almería su intención de editar un libro sobre música y neurociencia, intención que nació de su interés y pasión por este campo de investigación. Algunos aventureros se sumaron con entusiasmo a su propuesta, a la que se unieron, a su vez, un pequeño grupo de expertos de otras universidades. El resultado, que el lector tiene entre sus manos, es un libro colectivo en el que se presenta de manera concisa una buena muestra de las diversas investigaciones que se están realizando a nivel internacional en el campo de la neurociencia cognitiva de la música. Y subrayamos la palabra concisa ya que, como el lector irá descubriendo, algunos capítulos hubieran merecido, por sí mismos, un manual propio.

¿Es la música un rasgo biológico? ¿Qué hace que las melodías se juzguen como agradables o desagradables? ¿Qué sistemas cerebrales se encuentran implicados en el procesamiento de la música? ¿Cuáles son las capacidades o destrezas necesarias para la competencia musical?, son algunas de las muchas y variadas cuestiones que se van a plantear a lo largo de los ocho capítulos en los que se estructura el presente texto. El primero de ellos es un tema de introducción a la música en el que se abordan nociones básicas sobre música y lenguaje musical (v.g., cualidades del sonido: altura, duración timbre y tono) dirigidas, sobre todo, a aquellos que no tienen un conocimiento formal sobre esta disciplina con el objetivo de que les ayude a comprender aquellos conceptos puramente musicales que aparecerán en los siguientes capítulos. A continuación, exploraremos la posibilidad de que las habilidades musicales que presenta nuestra especie sean fruto de la selección natural, hablaremos de psicología comparada y estudiaremos la función biológica de la música. Después de este segundo capítulo, trataremos la *percepción musical* a través de un recorrido que abarca desde los conceptos básicos de la percepción auditiva, pasando por el procesamiento de patrones sonoros

complejos, hasta los modelos actuales del procesamiento de la música. En el siguiente capítulo el lector se encontrará, tal y como su nombre indica, con algunos de los temas más relevantes sobre *cognición musical*, entre los que destacan la memoria para melodías, el procesamiento de la tonalidad o los procesos cognitivos implicados en la ejecución musical.

El estudio del tipo de emociones asociadas con la música, de las diferentes áreas cerebrales que se activan en función del tipo de melodía y de la emoción que ésta produce, así como de la función terapéutica de la música, ocupan buena parte del capítulo titulado *Música y emoción*. Tampoco podía faltar, no cabe la menor duda, un tema de gran relevancia en este campo de estudio, nos referimos, como no, a la relación entre *música y lenguaje*. La especialización de las funciones musicales y lingüísticas en nuestro cerebro, la existencia de sistemas comunes a ambas habilidades, y la plasticidad cerebral asociada con el entrenamiento musical, son sólo algunas de las cuestiones abordadas en este sexto capítulo. Posteriormente, nos centraremos en la *aptitud musical*, en las habilidades que conforman este concepto, en los factores ambientales que favorecen el desarrollo de las mismas y en las herramientas utilizadas para su medida. Para finalizar, el octavo capítulo trata, en primer lugar, sobre los estudios realizados en relación con el *efecto Mozart*, el cual ha suscitado un gran interés en los últimos años, habiéndose llegado incluso a afirmar, en base a dicho efecto, que el hecho de escuchar unos minutos de música clásica al día puede hacernos más inteligentes, una afirmación, cuanto menos, controvertida. Por otra parte, en segundo y último lugar, se abordarán diversos estudios realizados con el objetivo de explorar la influencia que el entrenamiento musical puede tener sobre diferentes habilidades cognitivas (v.g., memoria verbal y procesamiento espacio-temporal).

Aunque el hecho de participar en un libro como éste, uno de los primeros en su temática editado en lengua castellana, es ya una recompensa *per se*, dicha recompensa será infinitamente mayor si nuestro esfuerzo sirve para interesar y apasionar al estudiante y a los profesionales de la psicología así como, en general, a todos aquellos que se sienten atraídos por este campo de estudio.

*Los editores*  
*Almería, Septiembre de 2007*

# BIOLOGÍA EVOLUCIONISTA DE LA MÚSICA

MARGARITA MORENO MONTOYA<sup>1</sup>, JUAN MANUEL DE PABLO<sup>2</sup>,  
ÁNGEL CAMINERO<sup>2</sup> Y FERNANDO SÁNCHEZ-SANTED<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dpto. Neurociencia y Ciencias de la Salud. Universidad de Almería

<sup>2</sup>Dpto. Psicobiología. UNED

Hubo un tiempo es que la cola del pavo teal ponía enfermo a Darwin; a los biólogos y psicólogos evolucionistas de hoy en día lo que les levanta dolor de cabeza es la música. Porque aunque la mayoría de las hipótesis de Darwin se han ido confirmando, desde la selección sexual al altruismo biológico pasando por el lenguaje humano, no hay acuerdo en si la música es un rasgo adaptativo de la especie humana; por supuesto, Darwin propuso su hipótesis, en ese caso la selección sexual (la veremos más adelante).

No puede haber la menor duda de que la música forma parte del conjunto de mecanismos y procesos comunicativos intraespecíficos. Es un ejemplo natural, como otro cualquiera, de las diversas formas que la comunicación adopta en la naturaleza; en este caso, de tipo acústico, y podemos recordar, desde el canto de los grillos en primavera o los de las ranas alrededor de sus charcas, hasta el canto de las ballenas o el uh! uh! de los chimpancés, sin olvidar el trino de los pájaros cantores o el aullido nocturno de los lobos o los perros, o el rugido coral de los leones y leonas del Serengeti. Tagg (2002) propone la siguiente definición de música: “... es esa forma de comunicación interhumana en la que un sonido no verbal organizado en términos humanos es percibido como portador de patrones de cognición primariamente afectivos (emocionales) y/o gestuales (corporales)”.

Si las señales acústicas que los animales emiten son rasgos biológicos y tienen, eso se da por supuesto, una función biológica, por analogía, ya que no se puede asegurar que se trate de una homología biológica, hemos de concluir que la música humana también es un rasgo biológico con una (o más) funciones biológicas, lo que implica que la música promueve (o lo hizo en el pasado) el éxito reproductivo. Lo verdaderamente difícil e interesante

es demostrar cómo lo hace. Por ello, vamos a dedicar las siguientes páginas a analizar las diferentes hipótesis propuestas sobre la biología de la música.

## 1. ¿ES LA MÚSICA UN RASGO BIOLÓGICO?

De la música, como del lenguaje, se puede asegurar que es un rasgo universal: todos los seres humanos de todas las culturas y sociedades son capaces de reconocer la música cuando la oyen y de reproducirla y hasta crearla, aunque sólo sea mediante la voz y el canto. Con el lenguaje verbal comparte el componente sonoro, el ritmo y la melodía (modulación del tono); aunque en muchas de las lenguas habladas el tono (la frecuencia del sonido) no es lingüísticamente relevante, caso de las lenguas indoeuropeas (español, ruso, inglés...), este rasgo fónico sí lo es en las llamadas lenguas tónicas como el chino, el coreano o el vietnamita.

Hay quien llega a afirmar que, como en el lenguaje, existe para la música una especie de sintaxis universal similar a la de la gramática universal propuesta por Chomsky para el lenguaje. Sea esto cierto o no, sí parece, o al menos hay quien lo asegura, que las frases musicales, las melodías, tienden a tener las mismas dimensiones temporales que las oraciones gramaticales, entre uno y varios segundos. Se ha llegado incluso a proponer la hipótesis de que dentro de las melodías existen elementos nucleares y elementos complementarios. Desde luego, estos paralelismos pueden estar señalando una relación evolutiva entre música y lenguaje. Y naturalmente, cabe plantear si las capacidades musicales humanas constituyen una preadaptación para el lenguaje, habida cuenta de que la música, producida y transmitida a través de la voz, puede considerarse más simple al ser una forma de comunicación de tipo más emocional que simbólico o semántico, análoga a la que se logra mediante la expresión facial, en este caso utilizando una vía de tipo visual. Lo que pretendemos sugerir es que la música es un tipo de comunicación acústica de contenidos emocionales, donde la conexión entre el significante (la música) y el contenido (lo que con ella se trata de comunicar) es muy estrecha y nada abstracta, a diferencia de lo que ocurre con el lenguaje donde, hecha abstracción de la entonación que, como veremos, tiene mucho de música, la relación entre significantes (palabras y frases) y significados (la información) es abstracta y arbitraria.

Así pues, afirmamos que la música es un estímulo desencadenador innato y la respuesta que suscita es una conducta típica de especie. Dorrel (2005) llega a afirmar que la música es en realidad un superestímulo en comparación con la musicalidad propia del habla (en concreto, la armonía es una propiedad básica de la música que no se produce en el habla, puesto que no cabe esperar que tratemos de escuchar a más de un hablante a la vez,

lo que sí se supone que ocurre cuando varias personas cantan juntas); por su parte, el ritmo musical es también un superestímulo en relación con la aparente falta de ritmo del lenguaje hablado. Como más adelante veremos, parece que, como ocurre con el lenguaje verbal, existen estructuras cerebrales directa y específicamente implicadas en el procesamiento de la música y en la propia respuesta emocional.

## 2. RASGOS UNIVERSALES DE LA MÚSICA: ONTOGENIA Y FILOGENIA

Al igual que la expresión facial de las emociones, la comunicación emocional que la música permite es también universal, lo que significa que será entendida por cualquier ser humano que la perciba. Pero hay otros aspectos intrínsecos de la música que también son universales: fundamentalmente notaremos la tonalidad, la armonía y el ritmo.

Al parecer, la música tonal (la que se sirve de la tonalidad para organizar la música<sup>1</sup>) tiene algunas características psicofísicas que hacen de ella una forma especial de estimulación sonora. La música tonal más universalmente conocida es la que viene representada por la escala heptatónica o diatónica (consta de 5 tonos y 2 semitonos) y la escala cromática (consta de 12 semitonos<sup>2</sup>) porque es la que escuchamos habitualmente cuando hablamos de música clásica. También la música llamada popular sigue generalmente las normas de la música tonal.

Ya Pitágoras se dio cuenta de que la relación entre el tono (*pitch*: frecuencia sonora) de cada nota guarda una relación matemática con las demás notas de la escala. Por ejemplo, la relación entre dos notas con el mismo nombre en dos octavas consecutivas es de 2/1, o sea que la frecuencia de la primera nota, por ejemplo, el Do de la parte alta del pentagrama tiene una frecuencia sonora que es el doble exacto del Do de la octava inmediatamente inferior.

---

<sup>1</sup> La tonalidad es la relación que existe entre determinados sonidos en torno a uno principal llamado tónica. Por ejemplo, en la tonalidad de Do la tónica es Do, mientras que en la tonalidad de Fa es ésta nota la tónica.

<sup>2</sup> Tal como los podemos encontrar en las escalas de blancas y negras del piano; las teclas negras marcan los semitonos, excepto que entre Mi y Fa sólo hay un semitono y entre Si y Do otro semitono. Los intervalos entre cada semitono no son iguales, sino que siguen la siguiente progresión respecto al tono de referencia Do: 1er semitono (Do sostenido): 135/128; 2º (Re): 9/8; 3º (Re sostenido): 6/5; 4º (Mi): 5/4; 5º (Fa): 4/3; 6º (Fa sostenido): 45/32; 7º (Sol): 3/2; 8º (Sol sostenido): 8/5; 9º (La): 27/16; 10º (La sostenido): 9/5; 11º (Si): 15/8; 12º (Do octava): 2/1.

## 2.1. Psicología comparada de la música

Lo curioso es que tanto los niños de 6 meses, mucho antes de empezar a hablar (Trehub, 2003, para una revisión), como los monos rhesus, reconocen como idénticas dos melodías que difieren en una o en dos octavas (a esta operación se le llama transposición); los rhesus detectan que ambas melodías son diferentes cuando difieren en media octava o en octava y media. Por su parte, los infantes son capaces de reconocer alteraciones de un semitono o menos en una sola nota de la melodía (Trehub, 2003). Junto a esto hay que decir que los niños pequeños discriminan errores musicales tanto en la escala heptatónica occidental como en otras escalas (v.g. la escala indonesia), capacidad que los adultos no entrenados tienden a perder para las escalas extrañas (Justus y Bharucha, 2002). Estos resultados sólo se producen con melodías realizadas en la escala diatónica, pero no cuando las notas son elegidas al azar de la escala cromática de doce semitonos; como, por ejemplo, sucede en la música atonal<sup>3</sup>, donde no se tiene en cuenta la armonía entre las notas (Hauser y McDermott, 2003).

Los estudios en animales muestran que la capacidad de procesar sonidos musicales no es algo exclusivo de los seres humanos, sino que los animales poseen los mecanismos cerebrales para detectar detalles de las secuencias musicales, más allá de los aspectos perceptuales (Hauser, Chomsky y Fitch, 2002).

En las investigaciones sobre el conocimiento musical de los animales realizadas con aves, se ha encontrado que, por ejemplo, los estorninos son capaces de reconocer detalles como los tonos de una melodía a pesar de que se produzcan variaciones en el tiempo (Hulse y Cynx, 1985). Y aunque las aves suelen mostrar una preferencia por las frecuencias absolutas a la hora de procesar la frecuencia de un sonido, los gorriones de cuello blanco son capaces de identificar a un congénere a través de claves de frecuencias relativas (MacDougall-Shackleton y Hulse, 1996).

Sin embargo, la capacidad musical parece evolucionar de las aves a los mamíferos, de modo que los estudios en monos han mostrado habilidades que no se dan en los pájaros, como reconocer melodías con una transposición de frecuencias. De este modo, en un estudio con monos, se les entrenó a realizar juicios de discriminación igual/diferente sobre estímulos auditivos naturales o ambientales que se presentaban de forma sucesiva, y que después fueron sustituidos por melodías cortas. Los monos, al igual que hacemos los humanos, tendían a generalizar a través de melodías transpuestas, de modo que tendían a considerar iguales dos melodías cuando estaban transpuestas

---

<sup>3</sup> En contraposición a la música tonal, la atonal es la música compuesta sin tonalidad ni orden sistemático.

en 1 ó 2 octavas. Esto sólo ocurría en las melodías basadas en una escala diatónica, mientras que cuando se presentaban melodías atonales no se producía esa generalización (Wright, Rivera, Hulse, Shyan y Neiworth, 2000). Esta diferencia podría ocurrir, bien porque los monos no podían recordar las melodías atonales, bien porque recordaban las melodías atonales pero no en una representación que les permitiese compararlas con las versiones transpuestas (Hauser y McDermott, 2003). En cualquier caso, los resultados de este estudio indican que podrían existir diferencias fundamentales en el procesamiento de las melodías tonales y atonales en el cerebro de los monos al igual que ocurre en los humanos (Kass, Hackett y Tramo, 1999). De hecho, un estudio comparativo sobre las respuestas neurofisiológicas ante la emisión de notas consonantes o disonantes entre macacos y personas con epilepsia, ha mostrado que ambos tenían respuestas diferenciadas en la corteza cerebral según si el estímulo era consonante o disonante (Fishman et al., 2001). Estas similitudes encontradas entre los monos y los humanos en las tareas de procesamiento musical podrían implicar que ambos emplean los mismos mecanismos cerebrales durante el procesamiento musical.

Parece que algunos aspectos de las características de la música, como la percepción del ritmo, podrían estar en los dominios de mecanismos cerebrales auditivos antes de que nuestra especie empezara a producir música. Así, un estudio comparativo entre monos tamarín y niños recién nacidos ha mostrado que ambos tienen la capacidad de discriminar dos idiomas distintos de acuerdo a claves rítmicas que se emiten en el lenguaje, ya que no podían realizar esta discriminación si las frases eran emitidas en sentido inverso (Ramus, Nespor y Mehler, 1999).

En relación con el carácter universal de la música, un dato curioso lo constituye las coincidencias existentes entre diferentes escalas musicales de culturas muy alejadas, como, por ejemplo, la diatónica occidental, la *shree* de la India, la *sorog* de Bali o la *hirajoshi* de Japón (Figura 1). En todas ellas, la escala consiste en una sucesión de tonos (frecuencias) que van desde una nota base inicial, con una determinada frecuencia, hasta otra final cuya frecuencia es el doble de la de la nota base (octava de la escala diatónica). Además, entre los diferentes intervalos en que se organizan estas distintas escalas musicales, en todas ellas existe un intervalo cuya frecuencia es de  $2/3$  de la nota base (quinta de la escala diatónica).

Otro ejemplo de la universalidad de la música, sea cual sea su función, nos lo proporciona Payne (2000) quien asegura que el patrón de canto de las ballenas jorobadas es sorprendentemente similar al seguido por las tradiciones musicales humanas en lo que se refiere a ritmo, a las frases -de no más de varios segundos- y a la duración de las canciones que va desde lo que abarca temporalmente una balada, hasta lo que dura una sinfonía.

Todo lo cual hace que estas melodías resulten ser compatibles con los gustos humanos.

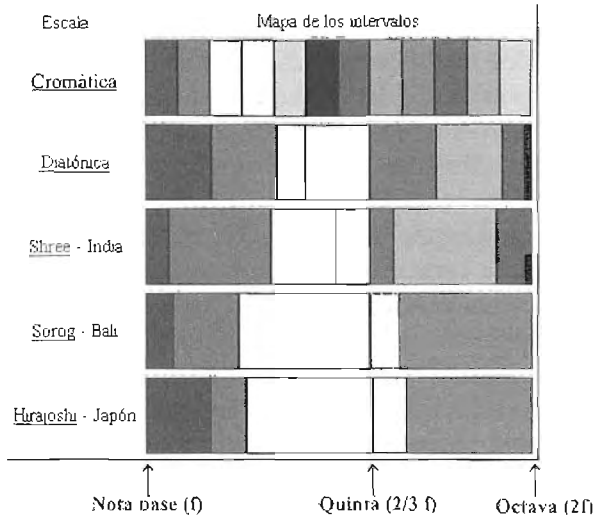


Figura 1. Comparación entre las escalas musicales de diferentes culturas

Si estamos de acuerdo en que la música, para serlo, es decir, para que escucharla constituya una experiencia placentera, ha de tener como componente esencial la armonía, será bueno comprobar si este concepto de armonía se refiere a un proceso subjetivo del oyente o si, por el contrario, hay algo intrínseco en la combinación de sonidos que determina la percepción de una combinación de sonidos como armoniosa.

Cuando dos notas suenan simultáneamente pueden suceder dos cosas, que haya consonancia entre ellas, lo que resulta agradable al oyente, o que disuenen, causando en el oyente una cierta tensión que deseará aliviar por ser desagradable. Al parecer, la armonía tiene una base física, puesto que se puede predecir qué pares de notas serán consonantes y qué pares de notas no lo serán: dos notas separadas por una octava serán consonantes porque la relación de frecuencias (*pitch*) es de 2 a 1, lo que hace que haya una coincidencia entre ambas frecuencias cada dos ciclos de la nota más aguda y cada ciclo de la más grave (a esta coincidencia se le llama estar en fase). A medida que la relación entre la frecuencia de las notas que suenan simultáneamente se hacen más complejas, menor es la consonancia y mayor la disonancia; dicho de otra manera, cuantos más ciclos han de pasar hasta que se dé una coincidencia, mayor es la disonancia (la melodía musical requiere armonía



entre las notas musicales que suenan sucesivamente). Mientras que muchas especies animales (aves, roedores, monos...) son capaces de discriminar entre sonidos consonantes y disonantes, sólo los humanos manifiestan una clara preferencia por los sonidos consonantes, que se puede constatar ya en los niños de 2 a 4 meses, los cuales prefieren claramente los sonidos consonantes a los disonantes (Trainor y Heinmiller, 1998; Trainor, Tsang y Cheung, 2002). Estos autores sugieren que la preferencia por sonidos consonantes es innata e independiente de la experiencia. Sin embargo, otros primates, como los titíes de cabeza blanca, no muestran esta preferencia (McDermott y Hauser, 2004).

## 2.2. Arqueología de la música

Otros datos aportan más pruebas de que la música forma parte del acervo de rasgos biológicos humanos. Si es un *a priori* plantear que el canto es una forma de música que necesariamente ha de ser tan antigua como la propia especie humana, el descubrimiento por los paleontólogos y arqueólogos de instrumentos musicales de una antigüedad cercana a los 50.000 años, representa una prueba palmaria de que la música ha debido estar presente en toda la historia del hombre como especie. Efectivamente, los instrumentos musicales más antiguos, universalmente aceptados como tales, tienen una antigüedad de alrededor de 35.000 años y son unas flautas de hueso de ave encontradas en cuevas de Alemania y Francia (Balter, 2004; Morley, 2003; Figura 2 abajo). Sin embargo, y esto tiene unas implicaciones enormes para la evolución de la música, en el año 2.000 se descubrió en Eslovenia, en un yacimiento Neanderthal, restos de una flauta, fabricada en hueso de fémur de una cría de oso cavernario, aun más antigua que la anterior, ya que se la sitúa en un escenario de hace 45.000 años (Kunej y Turk, 2000; Figura 2 arriba). Dado que la distribución de los agujeros y las posibilidades musicales de esta última flauta se consideran como ajustados a criterios diatónicos, parece razonable excluir la hipótesis de que se trate de un hueso con agujeros hechos al azar por depredadores.

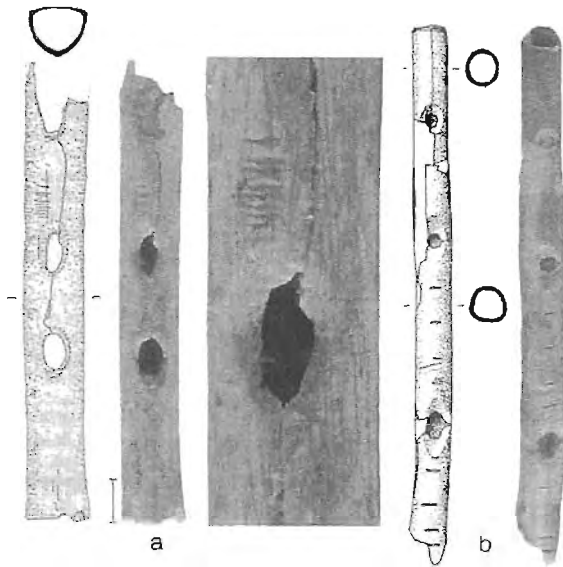
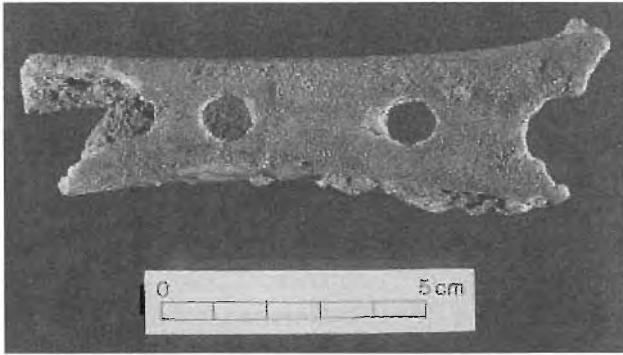


Figura 2. Arriba: hueso perforado aparentemente de acuerdo con principios musicales encontrado en un yacimiento Neandertal de Eslovenia. Abajo: flautas de hueso del periodo auriniaciense (alrededor de 35.000 años); a) radio de bueitre (Isturiz, Francia); b) radio de cisne (Geissenklösterle, Alemania).

### 2.3. Modularidad de la música

Ítem más, los diversos datos y hechos que apuntan a que la capacidad musical humana, sobre todo en su aspecto perceptivo, constituye un módulo cognitivo tal como se define este concepto en la psicología evolucionista, refutan la duda que algunos tienen de que la música sea una adaptación biológica. La teoría modular de la mente (Fodor, 1983) define un módulo

mental por, entre otras, las siguientes propiedades<sup>4</sup>: innato (tiene una base genética), específico en cuanto al tipo de estímulos que procesa (*domain-specific*), automático y, consecuentemente, rápido en el procesamiento de ese tipo característico de datos, con una base neural específica, así como con un desarrollo característico. La psicología evolucionista da por supuesto que los módulos mentales son adaptativos y universales: prototipos de módulo mental son el lenguaje, la teoría de la mente o el razonamiento basado en el interés (la lógica formal no es la manera en que razonamos mejor, sino cuando los problemas representan peligro, beneficio o daño para el actor).

Ya hemos dado antes algunas pruebas de que la capacidad musical es innata. Una prueba de que el procesamiento musical es específico nos la ofrecen los diversos casos de amusia (incapacidad para percibir como música los estímulos auditivos que todo el mundo considera música): congénita y adquirida. Como se ha indicado y veremos más adelante, la música comparte muchos elementos con el lenguaje y cabría suponer que ambos dominios podrían formar parte de un mismo módulo mental. Desde luego, la especificidad neural y de dominio, el innatismo, etc., hacen del lenguaje un modelo de módulo mental. Demostrar que la musicalidad (por decirlo de alguna manera) es un módulo mental distinto del lenguaje requiere que quienes ven alterada la función lingüística por lesión de estructuras cerebrales involucradas en su procesamiento, no vean simultáneamente alteradas las facultades musicales y viceversa. Efectivamente, algunos pacientes con lesiones cerebrales más o menos definidas, pierden su capacidad de reconocer melodías anteriormente familiares, pero sí son capaces de responder emocionalmente a ellas (Weinberger, 2005), y de reconocer las letras de esas mismas canciones, así como el lenguaje hablado y otros sonidos familiares: es lo que hemos llamado amusia adquirida.

En el caso de la amusia congénita, los pacientes sufren a lo largo de toda su vida una incapacidad para reconocer la música, sean canciones o sea música instrumental, a pesar de ser capaces de reconocer las letras de las canciones anteriormente escuchadas (Peretz y Coltheart, 2003). La amusia congénita presenta una alta heredabilidad, puesto que los gemelos monocigóticos tienden a coincidir en esta dolencia más que los dicigóticos (Drayna, Mani-

---

<sup>4</sup> Según Fodor (1983) un sistema de procesamiento de información del tipo que explica las capacidades psicológicas humanas, es modular cuando cumple los siguientes 9 requisitos: (1) arquitectura neural localizada; (2) su deterioro es o puede ser específico, es decir, sin que se vean afectados otros módulos, otras capacidades; (3) opera automática y (4) rápidamente; (5) el producto o resultado de su actividad es simple; (6) su desarrollo está genéticamente determinado (sigue un ritmo de desarrollo y una secuencia en la aparición de sus elementos constitutivos muy similar en todos los sujetos); (7) es específico de dominio, esto es, procesa un tipo de información bastante o muy específico; (8) sus representaciones son poco accesibles para niveles superiores de procesamiento y (9) esos niveles superiores de procesamiento no pueden dirigir su actividad.

chaikul, de Lange, Snieder y Spector, 2001). Concretamente, los valores de la heredabilidad de la amusia oscilan entre 0.7 y 0.8 (Peretz y Hyde, 2003). En los casos estudiados, los pacientes no presentaban alteraciones sensoriales, baja inteligencia ni falta de estimulación musical: El Ché Guevara y Milron Freedman (Nobel de Economía) son dos ejemplos conocidos de personas con amusia congénita (Peretz y Hyde, 2003).

A la inversa, pacientes con lesiones cerebrales que alteran de modo específico sus capacidades lingüísticas, por ejemplo su capacidad de reconocer el significado de las palabras oídas, pueden conservar su capacidad de reconocer la música cuando la escuchan (Peretz y Coltheart, 2003). Ejemplos notables de alteraciones lingüísticas sin deterioro aparente de las habilidades musicales nos los ofrecen el músico ruso Vissarion Shebalin, quien, según cuenta Luria (ver en Popp, 2004), sufrió un golpe en un lado de la cabeza que deterioró muy notablemente su capacidad de hablar pero siguió componiendo, con el aplauso y la admiración del público y de colegas tan insignes como Dimitri Shostakovich (Popp, 2004). Caso controvertido es el de Maurice Ravel, quien compuso su famoso Bolero a pesar de presentar desde cuatro o cinco años antes una cierta disfasia (Otte, De Bondt, Van de Wiele, Audenaert y Dierckx, 2003).

Estudios realizados con individuos con síndrome de Williams o autismo, corroboran sin lugar a dudas la hipótesis de la modularidad de la música. En el primer caso (síndrome de Williams) se trata de pacientes con un CI notablemente bajo (CI alrededor de 50), pero con una habilidad lingüística prácticamente normal; conservan también una capacidad musical incluso superior a la media en la población, sobre todo, en lo que se refiere al efecto psicológico que sobre ellos ejerce la música (Levitin et al., 2004). En el segundo caso (autismo), es conocido que se trata de individuos con una inteligencia más o menos normal cuya principal afectación es la llamada Teoría de la Mente, por cuanto son incapaces de lograr ver las cosas desde el punto de vista del otro; además, su capacidad lingüística está muy deteriorada. Con todo, muchos de ellos poseen una capacidad musical normal en prácticamente todos los aspectos, y en algunos, como la capacidad para identificar a la perfección un tono aislado, lo que se conoce como oído absoluto (*perfect pitch*), son superiores a la media de la población; de hecho, muchos de los llamados “savants” (sabios) musicales son autistas (Peretz y Coltheart, 2003). Curiosamente, el síndrome de Asperger, un tipo especial de autismo, conlleva un deterioro de las capacidades musicales (Levitin, 2000).

La existencia de genios musicales también apunta a la modularidad de la música. El ejemplo paradigmático es el caso de Mozart, que, aparte de sus otras genialidades, fue capaz, con sólo 14 años, de escribir de memoria tras

una sola audición el *Miserere* de Allegri que se cantaba durante la Semana Santa en la capilla Sextina (se trata de una pieza polifónica que dura 12 minutos con nueve partes y cantada por dos coros). La cuestión era que el manuscrito de esta obra se conservaba como un secreto de estado celosamente guardado por el Vaticano y no se dejaba copiar a nadie (Popp, 2004).

### 3. LA MÚSICA EN LA ESCALA ONTOGENÉTICA

El estudio sobre la capacidad musical durante la edad temprana en los humanos ha ofrecido importantes datos sobre el desarrollo de los conocimientos musicales en los niños, de modo que existen distintas investigaciones que apoyan el posible carácter innato de la música. Desde los seis meses de edad, se han realizado estudios sobre el conocimiento musical en los niños evaluando la habilidad que tienen para detectar cambios específicos en una melodía. Así, mediante tareas de condicionamiento y empleando el refuerzo con juguetes, se ha comprobado que los niños son capaces de discriminar pequeñas diferencias musicales durante la repetición de una misma melodía a distintas frecuencias o a distintos tiempos (Trehub, Thorpe y Morrongiello, 1987).

En general, los resultados de las investigaciones revelan que los niños son capaces de reconocer las melodías a pesar de que se produzcan cambios en la frecuencia y en el tiempo musical; sin embargo, suelen responder de una forma más consistente a las melodías alteradas en tiempo antes que a las melodías alteradas en frecuencia (Trehub, 2003). Este hecho, confirmaría la capacidad de discriminación de los niños puesto que suelen recordar las características musicales más relevantes de la melodía original o de la secuencia de los tonos. Además, los niños perciben mejor las melodías diatónicas, conforme a las claves de escala mayor o menor, que las melodías que no están de acuerdo con las reglas convencionales de la música (Trehub, Thorpe y Trainor, 1990). Así mismo, los niños detectan mejor los intervalos (2 tonos simultáneos o secuenciados) considerados como consonantes o que suenan como agradables, como la 5ª perfecta o la 4ª perfecta, que los intervalos considerados como disonantes, como el intervalo de tres tonos –tritonos– que constituye una 4ª aumentada (Schellenberg y Trehub, 1996).

Por otra parte, estudios sobre la preferencia por patrones sonoros asociados a oradores, han mostrado que los niños de 2 a 6 meses de edad muestran preferencia por las personas que emiten secuencias de intervalos consonantes, dirigiéndose hacia ellos y a menudo sonriéndoles; mientras que ante los que emiten secuencias de intervalos disonantes se muestran molestos y a menudo lloran (Trainor y Heinmiller, 1998; Trainor et al., 2002; Zentner y Kagan 1996, 1998).

### 3.1. La capacidad musical de niños a adultos sin formación específica

De acuerdo con las investigaciones sobre los conocimientos musicales en la infancia, parece que existen unas capacidades musicales desde la edad temprana. Sin embargo, algunos estudios muestran que estas capacidades pueden cambiar durante el periodo adulto, de modo que se ha observado que los adultos sin entrenamiento musical no son capaces de detectar un gran cambio en la frecuencia de una melodía si se conserva el sentido musical (la misma clave y armonía), aunque sí son capaces de detectar variaciones sutiles en la frecuencia de la melodía si alteran el sentido musical (distinta clave); en cambio, los niños pueden detectar ambos cambios perfectamente (Trainor y Trehub, 1992). Así, por ejemplo, aunque ambos, niños y adultos, son capaces de detectar cambios sutiles en la frecuencia de una melodía, los adultos son incapaces de detectar esos cambios en el contexto de una escala no-familiar con una disposición desigual de tonos y semitonos (Trehub, Schellenberg y Kamenetsky, 1999). La ejecución de los adultos podría estar afectada por la experiencia musical previa, mientras que la de los niños estaría guiada por un conjunto de reglas universales que podrían tener de forma innata. La capacidad musical, más que un producto de la cultura, parece una capacidad innata universal que es modulada de acuerdo a la experiencia específica.

En este sentido, un estudio de resonancia magnética funcional en una tarea de discriminación de secuencias mostró que tanto los niños como los adultos sin formación musical previa emplean las mismas estructuras cerebrales, probablemente relacionadas con los aspectos cognitivos del procesamiento musical como el giro frontal inferior, la corteza orbital frontolateral, la ínsula anterior, la corteza premotora ventrolateral, el giro temporal, el surco temporal superior, y el giro supramarginal. Mientras que el entrenamiento musical, tanto en niños como en adultos, se correlacionaba con una activación mayor en el operculum frontal y en el giro temporal (Koelsch, Fritz, Schulze, Alsop y Schlaug, 2005).

De este modo, parece que las capacidades musicales de los niños no parecen ser muy diferentes de las de los adultos, lo que podría sugerir un posible origen genético de estas capacidades. Sin embargo, no debería descartarse la influencia de la experiencia musical temprana en los niños ya que durante la etapa perinatal, desde el tercer trimestre, los fetos pueden oír una versión filtrada de los sonidos del ambiente externo (Hauser y McDermott, 2003).

### 3.2. Genética de la capacidad musical: el modelo de la frecuencia absoluta

Para la investigación sobre el posible origen genético del procesamiento musical, algunos autores han propuesto como modelo de estudio la capacidad que tienen algunas personas para el “oído absoluto” (OA) (Zatorre, 2003b). El oído absoluto es una capacidad cognitiva de memoria asociativa por la que una persona es capaz de identificar rápidamente y sin esfuerzo la posición precisa de un tono en la escala sin ninguna otra referencia de tono. Aunque todo el mundo tiene en algún grado la capacidad de OA, sólo de 1 a 5 personas entre 10.000 son capaces de emplearla como procesamiento musical primario, mientras que la mayoría emplea el oído relativo al procesar la información en torno a alguna referencia musical (Bachem, 1937; Zatorre, 2003b).

Los estudios de neuroimagen en las personas que poseen la capacidad de OA han mostrado que éstas presentan diferencias neuroanatómicas y funcionales, respecto a las personas que no tienen la capacidad. De este modo, las personas que tienen OA, ya sean músicos experimentados o no, muestran diferencias neuroanatómicas como una mayor asimetría cerebral, por una posible reducción en las estructuras del hemisferio derecho, en comparación con las personas que no tienen esa capacidad (Keenan, Thangaraj, Halpern y Schlaug, 2001; Schlaug, Jäncke, Huang y Steinmetz, 1995; Zatorre, Perry, Beckett, Westbury y Evans, 1998). Los estudios con PET han revelado, además, diferencias funcionales en el cerebro, de modo que los músicos que no tienen OA emplean la memoria de trabajo para resolver una tarea de frecuencias, produciéndose una activación de la corteza frontal derecha, mientras que las personas que tienen OA parecen emplear otra área del lóbulo frontal, la corteza dorsolateral posterior, relacionada con la memoria asociativa (Petrides, 1995; Zatorre et al., 1998).

De acuerdo con estos datos, las diferencias encontradas en la población, con respecto a la capacidad del procesamiento musical por frecuencia absoluta, sugieren la posible intervención de factores genéticos o epigenéticos en su desarrollo. En este sentido, existen distintos datos que apuntan al posible origen genético del OA, ya que podría ser un rasgo heredado al existir una tasa alta entre familiares (Baharloo, Service, Risch, Gitschier y Freimer, 2000), y presentarse de forma irregular en la población, existiendo una mayor incidencia en las personas de origen asiático (Gregersen, Kowalsky, Kohn y Marvin, 2000). Otra prueba de la posible predisposición genética, es que las personas con autismo, un trastorno de origen genético, muestran una incidencia mayor en la presencia de OA (Rimland y Fein, 1988). De hecho, parece más fácil enseñar esta habilidad a los niños autistas que a los

que no lo son (Heaton, Hermelin y Pring, 1998). Así mismo, los músicos que no son autistas y presentan OA muestran una mayor incidencia de características perceptivas, de lenguaje y personalidad asociadas al autismo (Brown et al., 2003). Por otro lado, estas influencias genéticas explicarían la existencia de una mayor incidencia de la amusia congénita extrema, (incapacidad para procesar música), en los gemelos monozigóticos que en los dizigóticos (Drayna et al., 2001).

Sin embargo, a pesar de que las investigaciones sobre el origen del OA parecen indicar que existe una clara predisposición genética, ésta no parece una condición suficiente para su desarrollo, ya que el entrenamiento musical durante la edad temprana ha mostrado ser imprescindible para la aparición del OA durante el periodo adulto (Trainor, 2005). La presencia de OA en los adultos está asociada con el aprendizaje musical antes de los seis años (Takeuchi y Hulse, 1993), de modo que el aprendizaje específico de OA es más eficaz antes de los seis años que después de esta edad (Crozier, 1997). Así, las personas adultas que tratan de aprenderlo nunca llegan a conseguir la facilidad y permanencia de la capacidad como aquellos que la manifestaron en la edad temprana (Bachem, 1940; Crozier, 1997). Por tanto, aunque pueda existir una predisposición genética para el OA, el aprendizaje o la experiencia musical podrían actuar como un factor epigenético durante un periodo crítico<sup>5</sup> postnatal temprano, para el desarrollo del OA.

### 3.3. La experiencia musical y el periodo crítico de desarrollo

En el apartado anterior, hemos comentado la importancia de la experiencia musical antes de los seis años de edad para el desarrollo de la capacidad de la frecuencia absoluta. De este modo, parece que existiría una edad tope para el desarrollo de esta capacidad influenciada por la estimulación musical que se realice durante un determinado periodo crítico en la edad temprana. Así, durante la edad temprana, se suelen observar cambios en los umbrales de detección del sonido, ya que se agudiza la percepción del sistema auditivo como consecuencia de la maduración del sistema nervioso (Sanes, Reh y Harris, 2002).

Los estudios en animales han mostrado que, tanto la privación, como la exposición a señales acústicas alteradas durante la edad temprana, produce alteraciones en el desarrollo de la representación tonotópica (frecuencias) en la corteza auditiva primaria que se mantendrán a largo plazo en la vida

---

<sup>5</sup> Un periodo crítico para el desarrollo puede definirse como un periodo sensible a la plasticidad, de modo que una experiencia particular puede tener un efecto más profundo en el desarrollo de una conducta que en otras etapas (Baily, Bruer, Symons y Lichtman, 2001)



adulta (Chang y Merzenich, 2003; Harrison, Stanton, Nagasawa, Ibrahim y Mount, 1993; Zhang, Bao y Merzenich, 2002).

La investigación sobre si la experiencia musical temprana puede constituir un estímulo epigenético para el desarrollo de las capacidades musicales en los humanos, existiendo, por tanto, un periodo crítico para el desarrollo del procesamiento musical, se ha realizado mediante la comparación de personas que no tenían experiencia musical, en las que no ha existido una estimulación específica durante la edad temprana, y músicos expertos que habían tenido un entrenamiento musical desde la infancia. Puesto que la estimulación musical específica ha mostrado activar diferentes áreas del cerebro (Blood y Zatorre, 2001; Halpern y Zatorre, 1999; Koelsch y Friederici, 2003; Zatorre, 2003a), se han realizado estudios con el fin de comprobar si los músicos presentaban diferencias neuroanatómicas o funcionales en el cerebro respecto a los no-músicos, como consecuencia de la experiencia musical. Así, los estudios neuroanatómicos con resonancia magnética y PET han mostrado diferencias volumétricas entre los músicos y no-músicos en la corteza auditiva primaria (Schneider et al., 2002), el área de Broca (Sluming et al., 2002), el cerebelo y el cuerpo calloso y áreas motoras (Gaser y Schlaug 2003; Schlaug et al., 1995).

Los músicos presentan una mejora estructural y funcional en la corteza motora (Gaser y Schlaug, 2003), así como en la organización cortical, ya que la representación somatosensorial de los dedos está más desarrollada en los músicos que tocan instrumentos de cuerda y comenzaron la práctica desde su infancia (Elbert, Pantev, Wienbruch, Rockstroh y Taub, 1995). Además, también se ha observado que el incremento volumétrico en el área de Broca equivalente del hemisferio derecho, correlacionaba positivamente con los años de experiencia musical de los músicos (Sluming et al., 2002). La infancia, parece por tanto ser un periodo crítico en el desarrollo de las capacidades musicales, existiendo incluso estudios que correlacionan el desarrollo del tamaño de la corteza motora con el año de inicio en lecciones de piano (Amunts et al., 1997).

Los estudios con técnicas electrofisiológicas han mostrado también diferencias en distintas áreas auditivas del cerebro. Así, por ejemplo, las respuestas cerebrales de los músicos ante distintos tonos del piano, son un 25 % mayores que las de los sujetos no músicos (Pantev, Hoke, Luetkenhoener y Lehnertz, 1989). La respuesta se mostraba de una forma más pronunciada cuando el tono se emitía con el instrumento de cada músico (Pantev, Roberts, Schulz, Engelen y Ross, 2001), lo que indicaría la presencia de un fenómeno de plasticidad por el uso de un instrumento específico.

Parece indudable que existe una cierta interrelación entre los cambios estructurales en el cerebro y una experiencia o práctica continuada en la

música. Estos resultados sugieren una clara dependencia de la experiencia musical en las diferencias entre músicos y no-músicos. Además parece que la plasticidad del cerebro ante la experiencia musical se mantiene a lo largo de los años, ya que los músicos de edad avanzada no muestran la reducción volumétrica de ciertas áreas corticales propia de su edad (Sluming et al., 2002).

Existen, además, estudios específicos que han incidido sobre el período crítico para el desarrollo de las capacidades musicales, mostrando que la experiencia musical tiene un efecto más profundo durante la infancia que durante el período adulto en los músicos expertos (Trainor, 2005). Distintas investigaciones han encontrado una correlación, tanto del desarrollo de un área de la corteza motora, en concreto la longitud intrasulcal del giro precentral, como de las respuestas neurofisiológicas con la edad de comienzo de las lecciones de música (Amunts et al., 1997; Pantev et al., 1998; Trainor, Desjardins y Rockel, 1999).

Sin embargo, en otros estudios, en los que se ha mostrado que tanto la respuesta a los tonos puros como el volumen de la materia gris anteromedial del giro de Herchl's eran un 100% mayor en los músicos, se pone de manifiesto la posibilidad de una predisposición genética en el desarrollo de las diferencias neuroanatómicas y funcionales encontradas entre los músicos y no músicos; ya que los tonos puros no existen en el medio ambiente, la respuesta no podría deberse únicamente a cambios plásticos en el cerebro (Trainor, 2005).

A modo de conclusión preliminar podemos decir que la capacidad musical es una característica presente tanto en los animales como en los humanos, compuesta por distintas habilidades, como la frecuencia absoluta, que podría estar mediada tanto por una posible predisposición genética como por la experiencia en la edad temprana. De este modo, el desarrollo de la capacidad musical es susceptible en gran medida del aprendizaje durante el desarrollo temprano, y la práctica continuada puede modificar tanto la organización como el tipo de procesamiento que el cerebro realiza ante la música, existiendo, por tanto, múltiples caminos para convertirse en un experto musical.

#### **4. LA FUNCIÓN BIOLÓGICA DE LA MÚSICA: LA MUSICALIDAD HUMANA COMO RASGO ADAPTATIVO**

Si el razonamiento inductivo que hemos seguido hasta ahora, con el fin de probar que las aptitudes musicales humanas constituyen un módulo mental, avala esa hipótesis y, por ende, la de que la “musicalidad” humana es una adaptación, a partir de ahora vamos a abordar la más importante cuestión

de si realmente la musicalidad es una adaptación biológica, planteándonos qué ventajas reproductivas proporciona (o proporcionó) a los humanos. Se trata de investigar la función biológica de la música. Ni que decir tiene que nuestro planteamiento es contrario al de Pinker (1997), quien asegura que la música es una exaptación, un rasgo que no tiene ningún valor adaptativo y que simplemente existe como una manifestación conductual que acompaña a otra u otras que sí tienen valor biológico. Por aclarar un poco esta idea: podría considerarse la hipótesis de que la música fuera un rasgo que existe en la especie humana porque tal capacidad acompaña, como un efecto secundario, a la capacidad lingüística, que sí tiene un valor adaptativo. Por todo lo dicho hasta el momento en este capítulo (modularidad, especificidad cerebral, etc.) y por las pruebas que se van a ofrecer a partir de ahora, descartamos que la capacidad musical sea el “auditory cheesecake” que dice Pinker (1997), un lujo biológico innecesario. Porque si se demostrara que la música sólo comporta un efecto hedónico, aun así, no podríamos descartar su función adaptativa: si este efecto hedónico fuera del tipo que proporcionan las drogas de abuso, la selección natural hubiera eliminado este rasgo por la sencilla razón de que el hedonismo que no es señal fiable de logros biológicos, como ocurre con las drogas adictivas, no promueve el éxito reproductivo y quienes se centran en este tipo de placeres no transmiten sus genes a las siguientes generaciones, o lo hacen en menor medida que los demás (Huron, 2001, 2005).

Y no es que la música no tenga efectos fisiológicos, como veremos, aparte de sugerir y/o potenciar sentimientos y emociones subjetivas. Algunos de estos efectos fisiológicos poseen componentes paralelos a los de las sustancias adictivas: desde el punto de vista conductual piénsese en la avidez con la que los adolescentes consumen música, consumo que no sólo tiene un efecto económico sino, sobre todo, en términos de dedicación, por no hablar de la enorme cantidad de recursos e inversiones individuales e institucionales dedicados a la música y a los músicos.

No cabe duda de que la música posee componentes reforzantes, sobre todo para el consumidor (de los creadores y ejecutores de música, o sea, de los músicos, se ha hablado ya antes y hablatemos más adelante). Cuando los adolescentes escuchan música de su elección se activan zonas frontales y temporales de su hemisferio cerebral izquierdo, pero si escuchan una música que les desagrada, las zonas que se activan son las de su hemisferio derecho. La música preferida activa, además, partes del sistema límbico, como el giro cingulado, en tanto que la desagradable o disonante activa zonas cerebrales del lado derecho, concretamente el parahipocampo y la amígdala (citado en Esch y Stefano, 2004). Además, la música sentida como muy placentera (la que produce escalofríos) va acompañada de cambios psicofisiológicos

(tasa cardíaca, respiración, electromiograma...) así como de la activación de estructuras cerebrales implicadas en el procesamiento cerebral del refuerzo, las mismas que responden a refuerzos naturales como comida, sexo o drogas de abuso (estriado ventral, mesencéfalo, amígdala, corteza orbitofrontal y prefrontal ventromedial; Blood y Zatorre, 2001). Es como si la música, al menos esta música, estimulara las vías cerebrales que al activarse señalan que se han desplegado conductas que promueven la aptitud biológica; de hecho, la naloxona, una antagonista de los opiáceos y opioides, reduce el nivel de satisfacción ante este tipo de música predilecta (citado en Huron, 1999). Aún se puede añadir algo más, puesto que la música reduce los niveles de testosterona en varones y los aumenta en mujeres, a la vez que reduce en ambos los niveles de cortisol, la hormona adrenal de respuesta al estrés (Fukui y Yamashita, 2003). Y por si esto fuera poco, la música aumenta la liberación cerebral de oxitocina, una hormona asociada con el parto, el amamantamiento, el orgasmo y el vínculo de pareja (Freeman, 1995). Así pues, si la música no es una sustancia adictiva, sino que las señales bioquímicas que genera son genuinas señales de aptitud, tenemos que averiguar por qué. ¿Qué relación puede guardar la música con la adaptación?

#### 4.1. ¿Para qué sirve la Música?

Y llegamos a la parte magra de nuestra exposición, porque a nuestro entender explicar la función biológica de cualquier rasgo conductual es el objetivo fundamental de cualquier investigación de la conducta. Hemos sugerido antes que la música es una forma de comunicación, acústica, por supuesto. Por lo tanto, vamos a proseguir nuestro análisis en el contexto biológico de la comunicación. Empezaremos por recordar que la comunicación es un componente básico del diseño adaptativo de los animales y no cabe pensar, como en algún momento se hizo, que la comunicación se establezca para el bien común; la comunicación sólo tiene sentido biológico en la medida en que favorece el éxito reproductivo del que genera la información, el emisor, porque, de lo contrario, no la emitiría. Si esta información favorece o no al receptor dependerá de otros factores, entre otras, de su capacidad para evitar el engaño. El análisis más teórico y general que podemos ofrecer brevemente describe la comunicación como un dilema del prisionero<sup>6</sup> (DP) donde decir

---

<sup>6</sup> La historia del dilema del prisionero es como sigue: Joe y Bill son capturados por la policía después de arrancar un banco y se les interroga por separado. Se les ofrece un trato: si uno de los dos confiesa y el otro no, el primero sale libre y el otro tendrá una pena de muchos años de cárcel (pongamos 20 años); si ambos confiesan, la pena será intermedia (8 años para cada uno); si ninguno confiesa, la pena será la mínima (por falta de evidencias para el delito mayor, como todos los criminales saben; 3 años). Así las cosas, ¿qué harán Joe y Bill? Si ambos se niegan a confesar, es decir, cooperan entre sí, lograrán el mejor resultado en conjunto (6 años de cárcel en total). Si ambos confiesan (se

la verdad (cooperar) o engañar (defraudar) son las dos estrategias posibles para el comunicante y donde el resultado de la comunicación para el emisor depende de la respuesta del receptor, el cual puede, bien cooperar (aceptar como verdadera la información y actuar en consecuencia), bien defraudar (actuar en beneficio propio, a pesar de que eso perjudique al emisor). Este planteamiento se puede representar en una tabla en términos de beneficio y perjuicio para cada uno de los dos actores, el emisor y el receptor. Lo que se representa en la Tabla 1, se ha de interpretar de la siguiente manera: la cooperación beneficia a ambos actores, el engaño beneficia el emisor y perjudica al receptor, la explotación beneficia al receptor a costa del emisor y el castigo es el perjuicio que ambos actores sufren por perder el tiempo en tratar de aprovecharse el uno del otro recíprocamente (lo dicho respecto al castigo es una simplificación, por cuanto pueden suceder diferentes cosas: a) que el receptor preste atención, en cuyo caso sí sufre perjuicio o b) que haga caso omiso, en cuyo caso no pierde nada; en ambos casos el emisor sufre perjuicio por el esfuerzo que ha de realizar para tratar de captar la atención del receptor).

Tabla 1. Posibles resultados del acto comunicativo para emisor y receptor.

Tipo de Información emitida por el Emisor	POSITIVA	NEGATIVA
VERDADERA	<b>Cooperación (3,3)</b>	<b>Explotación (20,0)</b>
FALSA	<b>Engaño (0,20)</b>	<b>Castigo(8,8)</b>

El siguiente paso que hemos de dar es el de averiguar en qué contextos se utiliza la música, quién es el emisor y quién el receptor. Como primera vía de aproximación será bueno partir de aquellas situaciones donde la música constituye un ingrediente importante: en las interacciones madre-hijo (en las interacciones acústicas que se establecen con los hijos durante la infancia, canciones de cuna, canciones infantiles...), en las reuniones

---

defraudan el uno al otro), el resultado será de 16 años en total. Pero si uno confiesa (defrauda) y otro no (coopera), el que defrauda obtiene el mejor resultado (libertad), dejando que su compinche sufra la máxima pena (20 años). Lo cierto es que ambos tienen que confesar, puesto que de esa manera aseguran que haga lo que haga el compinche (es obvio que no pueden ponerse de acuerdo puesto que no se comunican ni han considerado la posibilidad de que el golpe fallara), al confesar se aseguran que tendrán la mínima pena que depende de sí mismos conseguir; además, confesando les cabe la posibilidad de que el otro no confiese, con lo que se lleva el premio de la libertad. Ninguno de los dos se va a arriesgar a hacer el primo de no confesar y arriesgarse a ir a la cárcel por 20 años y, encima, que el compinche salga libre (son los números que aparecen en la tabla). La respuesta de confesar por parte de ambos "cacos" es la que predice la teoría de juegos cuando esta situación se presenta una única vez (ver Poundstone, 2005).

festivas familiares, de jóvenes (conciertos...), en las relaciones de pareja, en las fiestas nacionales, en las exhibiciones militares y en la guerra (por lo menos cuando la guerra se hacía en formación (falange, etc., como mínimo antes de la invención de las armas de fuego), en los rituales religiosos de cualquier religión... En muchas de estas manifestaciones, como todos sabemos, la música va acompañada de los movimientos rítmicos, acordes con la melodía, que llamamos baile o danza y que, sin duda, tienen mucho que ver, como se dirá más adelante, con la exhibición y evaluación de las capacidades psicomotoras de quien la practica.

Desde luego, en cada situación el tipo de música es diferente: todos estamos de acuerdo en que poco se parecen una nana y un concierto de rock, salvo en que en ambos casos decimos que se trata de música. Así que, puesto que podemos relacionar distintos tipos de música con distintas situaciones o motivaciones, estamos legitimados a plantearnos que la música puede tener diferentes funciones (comunicativas, por supuesto). También esto se puede decir de las llamadas conductas musicales de los animales que presentan esta conducta (interpretada como música por nosotros, claro está). Entre las aves canoras, el canto, generalmente privativo del macho, parece integrarse en dos funciones relacionadas con la selección sexual darwiniana, atraer a las hembras y/o demostrar a los otros machos que un territorio dado tiene dueño y que lo mejor será que se mantengan alejados; aunque también puede facilitar el reconocimiento de los individuos, lo que permite diferenciar entre familiares y extraños, algo que es esencial en las especies que crían en familias amplias. Entre los gibones, sin embargo, cantan ambos miembros de la pareja y las canciones constituyen una especie de dúo; su finalidad parece ser la de mantener y promover el vínculo monógamo y/o alejar a parejas competidoras del territorio propio. Entre las ballenas jorobadas o yubartas, sólo los machos cantan y su objetivo es cortejar a las hembras fértiles (hay muchas otras especies de ballenas que también se comunican mediante el canto).

## 4.2. Música y selección sexual

No podemos, pues, sino empezar por contemplar la relación entre la música y la selección sexual, siguiendo en esto a Darwin, quien asegura: “... concluyo que las notas musicales y el ritmo fueron adquiridos primeramente por el macho o la hembra progenitores de la especie humana por mor del encanto que ello produce en el sexo opuesto. Así, los tonos musicales se asociaron con firmeza con algunas de las más fuertes pasiones que un animal puede sentir y son por ello utilizadas instintivamente, o por asociación, cuando se expresan emociones fuertes mediante el lenguaje” (Darwin, 1871, cap. 19). O cuando

dice "... parece probable que los progenitores del hombre (la especie humana, quiere decir), macho o hembra, o ambos sexos, antes de adquirir la capacidad de expresar su mutuo amor en lenguaje articulado, se esforzaron por seducir al otro con notas musicales y ritmo" (Darwin, 1871, cap. 19).

Si es claro que en otras especies la comunicación musical constituye un factor de selección sexual, no queda más remedio que investigar hasta qué punto la conducta musical humana guarda, cuando menos, una cierta analogía: Miller (2000) analiza exhaustivamente esta cuestión, de la que nosotros daremos apenas unas pinceladas. Según Miller, la calidad de la conducta musical puede estar señalando cualidades fisiológicas y psicológicas de un emisor de la misma entidad que cualquier otra señal sexualmente seleccionada, sea la cola del pavo real, sea la melena del león. La capacidad para el canto o la danza pueden ser señales fiables de características genéticas valiosas, de forma que los individuos pueden comparar y elegir en consecuencia (para todo lo relativo a la selección sexual, véase Andersson, 1994). Miller enumera algunas: la danza permite detectar algunas cualidades, como el sentido del ritmo o la coordinación psicomotora, el vigor, la resistencia y el estado de salud, señales "honestas" de buenos genes; el canto, por su parte, exige capacidad respiratoria y de modulación, confianza en uno mismo, interés en manifestarse públicamente, etc., rasgos asimismo que exigen una cierta calidad biológica. Junto a esto está el proceso creativo que implica la invención de nuevas melodías, o la recreación de las ya conocidas, que pueden ser un indicio de la capacidad cognitiva o de una inteligencia superior. Desde luego, las oportunidades sexuales de los músicos de éxito (Mick Jagger, Jimmy Hendrix, Elvis Presley, ...) superan en mucho la media de la población masculina del planeta, aspecto que correlaciona positivamente con sus dotes para la percepción, procesamiento y ejecución musical.

De alguna manera, estamos afirmando que algunas de las manifestaciones musicales humanas forman parte, y una parte muy importante, del arsenal conductual de cortejo de nuestra especie. La hipótesis más plausible, a nuestro parecer, es que la música, en cuanto rasgo sexualmente seleccionado (y no tiene por qué ser la función sexual la única explicación de la musicalidad humana, como veremos), es una señal honesta, puesto que asumimos que ninguna persona (las mujeres también utilizan la danza y la música para atraer a los varones) puede fingir una capacidad musical extraordinaria sin poseer la base biológica que la posibilita, de la misma manera que una rana túngara no puede croar en un tono bajo si su tamaño es pequeño. Entre estas ranas la selección sexual actúa favoreciendo a los machos de mayor tamaño, quienes demuestran su tamaño por el tono grave de su croar, que no puede ser imitado por ranas más pequeñas. En estos casos, o cuando simular poseer una capacidad que no se tiene es tan costoso que no com-

pensa, se dice que las señales son honestas (Zahavi, 1997). No deja de ser curioso que un rasgo sexualmente seleccionado sea el tono del sonido gutural emitido por algunas especies, como los ciervos: cuanto más grave, mayor capacidad competitiva a la hora de luchar por las hembras. Igualmente, el descenso de la laringe humana que tiene lugar en la pubertad masculina es la que posibilita un tono grave de la voz, lo que se conoce como voz vtil o masculina, frente al tono más agudo de las mujeres. Aunque, claro está, el tono de voz no es en sí mismo musical (aunque el tono sea un componente de la música), sí puede ser importante, como un indicio más, susceptible de ser utilizado a la hora de elegir pareja. Los estudios con resonancia magnética funcional (RMf), parecen apunrar en esta dirección al poner de manifiesto que el tono y timbre de la voz femenina, activan en los varones regiones específicas, distintas a las que activan las voces masculinas, involucradas en la atribución de género (Sokhi, Hunter, Wilkinson y Woodtuff, 2005). Ello nos permite suponer que, posiblemente, el tono y el timbre de la voz fueron, en algún momento de nuestra filogenia, características relevantes para la selección sexual.

De todas maneras, hay otras hipótesis posibles para explicar la selección sexual de la música humana, una de las cuales sería la selección fisheriana o *runaway*. En este caso, no es preciso que el rasgo sexualmente seleccionado sea un indicio cierto de calidad biológica de quien lo expresa, sino que basta con que las hembras prefieran a los machos que lo presentan en mayor medida. Junto a esto, puede estar el hecho de que sencillamente la música actúe sobre las hembras porque su capacidad perceptiva es especialmente sensible a cierto tipo de estímulos auditivos por la propia naturaleza del sistema auditivo, por una mera cuestión de diseño: es lo que se conoce como “sesgo del receptor”. Es como si la música fuese una especie de estímulo supernormal, que, como se sabe, desencadena una respuesta automática con más fuerza de lo que lo hacen los estímulos biológicos naturales. En estos dos últimos casos, el emisor consigue a través de la música “engañar” al receptor y el beneficio para aquél es un incremento en su probabilidad de aumentar su éxito reproductivo. En el caso de que se trate de una señal honesta no cabe posibilidad de engaño.

La hipótesis anteriores suponen que la música, durante el cortejo, tiene un efecto sólo sobre las mujeres; sin embargo, en nuestra especie la música parece ejercer un efecto similar en hombres y mujeres. En el contexto que nos ocupa, ello puede ser debido al hecho de que la selección sexual puede ser no sólo por elección de las mujeres, sino que también los varones eligen a las mujeres; es posible que, al igual que ocurre con lo indicado sobre el timbre y tono femeninos, también los varones sean sensibles a lo que significan las capacidades musicales de las mujeres a la hora de elegir con quién



procrear, sobre todo si se planifica colaborar en la crianza. Sin embargo, la proporción de músicos varones con respecto al de mujeres es de 20 a 1 en el caso de la música de jazz (por poner un ejemplo; en casi todas las ramas del arte y la ciencia la frecuencia de varones supera a la de mujeres en varias veces; Kanazawa, 2000). No obstante, habría que conocer los datos estadísticos de otros géneros musicales. Como ejemplo curioso podemos contar el caso de los Mekranoti del Amazonas Brasileño, donde tanto hombres como mujeres pasan más de una hora cada día cantando, con la diferencia de que los varones lo hacen durante casi dos horas de madrugada (a partir de las 4.30 horas, pero a veces comienzan antes); mientras cantan mantienen los brazos en una postura como de acunar y los mueven vigorosamente, además de cantar con el tono de voz más grave que pueden, acentuando glotalmente con la máxima intensidad el primer tiempo del compás 4x4 de sus canciones. Algún antropólogo ha descrito esta conducta como “rugido masculino” (Huron, 1999).

### 4.3. Música y cuidado parental

Por más verosímil y razonable que parezca la hipótesis de la selección sexual como explicación adaptativa de la música, es más que probable que la música no sea exclusivamente consecuencia de ella. No podemos olvidar que la comunicación musical humana se produce en muchas otras situaciones donde el cortejo y la transmisión de información sobre capacidad genética y motivación sexual están lejos de ser evidentes. Una de esas situaciones es la que involucra a madre e hijo: todas las madres, y bastantes padres, cantan a sus hijos pequeños canciones de cuna, cuyas características son bastante específicas en lo que se refiere a tipo de melodía y ritmo; además, este canto es lo suficientemente estereotipado como para que un observador pueda distinguir si se la está cantando a un niño o no. Junto a esto cabe señalar que la entonación de las expresiones lingüísticas que se dirigen a los niños pequeños, prácticamente desde que nacen, es también muy característica, donde es más importante la musicalidad de lo que se dice que el contenido, puesto que los niños de esa edad (prácticamente desde que nacen) no entienden lo que se les dice (Truhub, 2003). Dado que la entonación de los mensajes verbales dirigidos a los niños muy pequeños, al parecer, no favorece la discriminación fonética ni fonológica (Trainor y Desjardins, 2002), la función de esta forma de comunicación ha de ser de tipo, bien fático, para captar su atención, o bien afectivo o emocional, del mismo tipo seguramente que la expresión facial o el contacto físico. Es razonable pensar que tanto las canciones de cuna como el lenguaje dirigido a los niños muy pequeños (*motherese* es la palabra que se utiliza en las revistas especializadas) afectan

a la fisiología de los infantes, activando determinados neurotransmisores cerebrales, especialmente los relacionados con el apego, proceso donde la oxitocina y la vasopresina parecen tener un papel muy importante (Barrels y Zeki, 2004; Young y Wang, 2004). Si consideramos, además, que las crías humanas son incapaces de sujetarse por sí mismas al cuerpo de la madre, es plausible pensar que el contacto auditivo a través del canto pueda actuar como vía alternativa para mantener un contacto que evita el desamparo propio de las crías de los mamíferos que se ven apartadas de sus madres, o bien, como complemento del contacto físico, normal en el proceso de acunar a los bebés. Según lo dicho, la comunicación madre/hijo, en este caso, comunicación musical, ha de ser una comunicación fiable, por cuanto ambos (madre (o padre) e hijo), comparten intereses biológicos: esa es otra buena razón para explicar que esta forma de comunicación no requiere grandes esfuerzos ni virtuosismo, y todos los padres del mundo cantan a sus bebés; ¡sólo se trata de indicar al bebé que el vínculo con su madre (o padre) se mantiene y no es preciso que nadie más lo sepa! Tal vez por eso las nanas son lentas y suaves y nada ostentosas, a diferencia de lo que cabe esperar cuando la música se utiliza en contextos de correjo u otras situaciones, que veremos a continuación.

#### 4.4. Música y conducta social

Ocurre que la música, de modo parecido a lo que pasa con el lenguaje, se aprende, al menos en lo que se refiere a la capacidad de percibirla y disfrutarla (entenderla), sin necesidad de adiestramiento expreso. De alguna manera, podemos afirmar que la música es un tipo de conducta social puesto que, por lo que todos conocemos por propia experiencia, supone una razón para reunirse: desde los conciertos de rock o música clásica, hasta las fiestas de los pueblos. También cabe afirmar que el hecho de estar reunidos hace que las manifestaciones musicales sean más probables. Y es que la música parece potenciar el impulso natural a formar grupos. Ya los griegos fueron capaces de clasificar la música según el tipo de emoción compartida en la que podía tener una función cohesiva especial: la *música Frigia* era marcial y se utilizaba para promover la agresividad necesaria para la batalla, mezcla de miedo y rabia, con el sonido de las trompetas (no deja de ser curioso que es lo mismo que se trata de inducir en los ejércitos modernos mediante cocaína y anfetaminas, que liberan noradrenalina cerebral); la *música Lidia* era solemne, lenta, contemplativa, siendo la flauta el instrumento preferido (genera un estado de relajación asociado a liberación de serotonina); finalmente, la *música Jonia* era la que se tocaba en las fiestas y banquetes, acompañada de tambores (el baile y la danza eran sus complementos naturales). Esta última

es la música para el puro placer, el que en la naturaleza va acompañado por liberación cerebral de dopamina y endorfinas (Freeman, 2000).

La música guarda una estrecha relación con el estado de ánimo de las personas, de ahí que todos los ejércitos y todos los grupos religiosos concedan en sus liturgias un papel preponderante a la música. Efectivamente, la música potencia o induce un estado de ánimo análogo al de sus propiedades (sin duda hay músicas alegres y músicas tristes) y tendemos a querer escuchar el tipo de música que más acorde está con el estado de ánimo que presentemos en un momento dado (Panksepp y Bernatzky 2002). Se ha comprobado que cuando se manipulan dos rasgos musicales, como son el modo (mayor o menor) y el ritmo, se provoca en los sujetos una variación en la percepción emocional a lo largo del continuo tristeza-felicidad. El análisis de estos sujetos con RMf ha puesto de manifiesto que estas variaciones que provoca la música están asociadas con la activación de estructuras subcorticales y neocorticales, que intervienen en el procesamiento de otras modalidades emocionales. Así, por ejemplo, el modo menor (extractos tristes) provoca la actividad de la corteza frontal orbitomedial y dorsolateral izquierda (Khalfa, Schon, Anton y Liegeois-Chauvel, 2005).

La demostración de que la música potencia o induce un determinado estado de ánimo apoya la idea de que la música puede servir para inducir y aglutinar estados de ánimo grupales, y ésta sería una de las razones del por qué de la música en grupo, y también la causa de que la selección natural haya actuado, y lo siga haciendo, favoreciendo el desarrollo de capacidades musicales (sumándose al efecto, ya mencionado, que ejerce sobre ellas la selección sexual). Dado el carácter social de nuestra especie, ello redundaría en beneficio de la aptitud inclusiva de quien más potenciadas tenga esas capacidades.

Estas propiedades de la música, la convierten en un elemento de sintonía y sincronización que puede servir para facilitar el compromiso con el grupo y los fines de sus integrantes; en definitiva, es un facilitador o potenciador de la cooperación. En este caso, como en el de la selección sexual y a diferencia de la comunicación musical madre/hijo, las señales han de ser fiables, en el sentido de que el grado de coordinación y compromiso que se logra en el grupo, y que las expresiones musicales sacan a flote o ponen de manifiesto, ha de ser real y no fingido, entre otras cosas porque al no haber necesariamente relaciones de parentesco entre los integrantes del grupo, es claro que el riesgo de engaño (manifestarse tal como el grupo espera con el fin de lograr los beneficios de pertenecer al grupo sin pagar los costes) es grande. Por tanto, la capacidad de la música para generar estados de ánimo ayudaría a este propósito al “sincronizar obligatoria” y emocionalmente a los integrantes del grupo, evitando de esa manera el engaño.

Se supone que estas alianzas grupales se forman con el fin de poder afrontar las amenazas externas, con lo que las manifestaciones grupales, de las que, como estamos asegurando, la música y la danza constituyen señales fiables, sirven para transmitir información a los demás grupos: la música y la danza han podido evolucionar como un sistema de comunicación relativo a la calidad y credibilidad de las alianzas sociales, es decir, del grado de certeza de que la alianza no se romperá por causas del egoísmo individual cuando las amenazas externas acechen.

Una última hipótesis, relacionada sin duda con las anteriores y en absoluto excluyente, respecto a la función biológica de la música, es la de que las manifestaciones musicales promueven o facilitan la vinculación afectiva. Tanto entre los gibones, como en aquellas especies de pájaros donde ambos miembros de la pareja canran (suelen ser pájaros tropicales), el canto parece servir para reforzar el vínculo de la pareja entre sí y con su territorio, sobre todo, en relación con otras parejas competidoras. Ni que decir tiene que la especie humana es una especie muy grupal (social), donde el mantenimiento y refuerzo de los vínculos entre sus miembros puede ser decisivo, como hemos dicho. Si entre los primates grupales, como los babuinos o los propios chimpancés y bonobos, el rascado mutuo parece ser una estrategia para reforzar esos vínculos, hay quien ha hipotetizado (Dunbar, 2003) que los homínidos, al formar grupos más numerosos, desarrollaron una estrategia más eficaz, en el sentido de que requiere menos esfuerzo y conecta a más individuos; esa estrategia, precursora del lenguaje humano, bien pudiera haber sido el canto, la primera forma de música. De esta forma, tanto el canto, cuando se ejecuta a gran volumen, como los instrumentos musicales, potenciarían las propiedades de superestímulo que tiene la música. Gracias a esto, un solo individuo puede establecer contacto emocional con muchos miembros del grupo a la vez; incluso la coordinación en la manifestación musical con varios miembros del grupo podría muy bien potenciar sus efectos. Todos sabemos los efectos euforizantes y de contagio que produce cantar en grupo, como hacen los excursionistas en el autobús o los aficionados en los campos de fútbol, por no hablar del himno nacional (Vanechoute y Skoyles, 1998). Los diferentes tipos de música pueden servir como marca de pertenencia y compromiso con un grupo, de forma parecida a los idiomas, dialectos o acentos regionales: sólo quienes se sienten completamente identificados con el grupo son capaces de reconocer/interpretar de forma convincente la música que los identifica como pertenecientes a ese grupo. Tal vez por eso, el ambiente musical (cultura musical) en que se ha crecido es el que promueve las emociones más intensas cuando se escucha esa música de adulto, y, tal vez también por eso, los niños se sienten tan irresistiblemente atraídos hacia la música, porque hay una predisposición

biológica a responder y reconocer las señales propias del grupo -la música sería una de ellas-, aquellas que marcan la identidad del grupo en el que se ha de integrar (el lenguaje sería otro ejemplo).

Todo lo dicho parece apoyar la idea de que muy posiblemente la música tenga su origen filogenético en los sencillos repertorios sonoros que nuestros ancestros articulaban con la úvula o contrayendo la faringe (sonidos guturales) para comunicarse con sus congéneres. La información que se transmite mediante estos sonidos guturales es eminentemente emocional: defensa del territorio, defensa de depredadores, alertas de peligro, cortejo o relación con la prole. Es sin duda ese carácter emocional el que da fuerza a los mensajes canalizados por la música y su facilidad para grabarse en la memoria. Este hecho no pasó desapercibido para muchos sistemas de enseñanza (cuántas personas no habrán aprendido la tabla de multiplicar al ritmo del compás tres por cuatro), ni, por ejemplo, en la industria cinematográfica, que ya desde sus comienzos, aunque éstos fuesen mudos, cuidaban que todas las películas fuesen acompañadas de la correspondiente banda sonora. Los datos procedentes de estudios de resonancia magnética funcional (RMf), ponen de manifiesto que, efectivamente, por mucho que una imagen valga más de mil palabras, si esa imagen va acompañada de la música adecuada, el efecto emocional se multiplica: la simple presentación de imágenes visuales de contenido emocional sólo es capaz de evocar respuestas emocionales de carácter cognoscitivo, sin embargo, cuando se presentan simultáneamente con estímulos musicales congruentes, provocan fuertes sentimientos y emociones en el espectador de forma automática (Baumgartner, Lutz, Schmidt y Jancke, 2006).

En relación con todo lo expuesto, Steven Brown (Brown, 2000) propone un modelo para explicar cuál ha podido ser el origen filogenético de la música (y el lenguaje). Según este modelo, tanto la música, como el lenguaje verbal, tal y como se presentan en nuestra especie, procederían de un precursor ancestral común, que Brown denomina “musilenguaje” (*musilanguage*), consistente en un sistema primitivo de comunicación sonora en el que el sonido tendría tanto un significado emotivo como referencial o semántico. La clara ventaja que supondría un procesamiento eficaz de la información sonora, habría ejercido la presión selectiva necesaria para favorecer el proceso de divergencia que culminaría con la formación de los dos sistemas independientes, aunque estrechamente interrelacionados, que en nuestra especie se encargan, por un lado, de la recepción, procesamiento y generación de la información sonora emocional que caracteriza a la música y a la prosodia afectiva del lenguaje y, por otro, de la recepción, procesamiento y generación de la información sonora semántica propia del lenguaje verbal.

Son numerosos los datos que apuntan a un procesamiento dual de la información sonora. Por ejemplo, en la comprensión de la prosodia afectiva parecen estar involucradas distintas regiones del hemisferio derecho, como son el sulcus temporal posterior superior (área 22 de Brodmann) y las áreas frontales dorsolateral (áreas 44 y 45 de Brodmann) y orbitobasal (área 47 de Brodmann), mientras que en las tareas fonéricas se activan sólo las áreas corticales del hemisferio izquierdo relacionadas con el lenguaje verbal (Wildgruber et al., 2004; Wildgruber et al., 2005). Un ejemplo más de que la música y el lenguaje son procesados por distintos circuitos encefálicos, lo aporta el caso clínico descrito por Weinberger, en 2005. Se trata de una paciente que desde que sufrió daños bilaterales en sus lóbulos temporales, presenta una incapacidad total para reconocer los sonidos musicales como tales, y para identificar melodías que conocía con anterioridad a sus lesiones cerebrales. Sin embargo, tanto su inteligencia, como su memoria y habilidad lingüística, son enteramente normales. Este dato, de por sí, ya nos pone de manifiesto la singularidad del procesamiento de la música con respecto al del lenguaje verbal. Sin embargo, los datos aportados por este caso no se quedan ahí, pues, si bien la paciente presenta las incapacidades musicales descritas, sus reacciones emocionales ante distintas melodías, por más que ella no las reconozca como tales, sí son normales. Todo ello pone de manifiesto que en el SNC se han desarrollado a lo largo de la filogenia circuitos capaces de procesar específicamente la información de tipo musical y provocar una respuesta, también específica, de tipo emocional.

## 5. CONCLUSIÓN

Parece, pues, muy probable que las habilidades musicales que presenta nuestra especie sean fruto de la selección natural (selección sexual incluida) y que, por tanto, las diferencias individuales que mostramos en las distintas capacidades musicales, no sean otra cosa que un reflejo de, por un lado, la variabilidad genética de los loci implicados en las características morfológicas y funcionales de los sistemas encargados de percibir, procesar y generar música y, por otro, como hemos visto antes, del efecto que distintos factores epigenéticos ejercen sobre esos loci. Todo ello, finalmente, explicaría una parte de las diferencias existentes en la aptitud inclusiva de cada persona.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amunts, K., Schlaug, G., Jaencke, L., Steinmetz, H., Schleicher, A., Dabringhaus, A. y Zilles, K. (1997). Motor cortex and hand motor

- skills: Structural compliance in the human brain. *Human Brain Mapping*, 5, 206-215.
- Andersson, M. (1994). *Sexual selection*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Bachem, A. (1937). Various types of absolute pitch. *Journal of the Acustical Society of America*, 9, 146-151.
- Bachem, A. (1940). The genesis of absolute pitch. *Journal of the Acustical Society of America*, 11, 434-439.
- Baharloo, S., Service, S., Risch, N., Gitschier, J. y Freimer, N. (2000). Familial aggregation of absolute pitch. *American Journal Human Genetics*, 67, 755-758.
- Baily, D.B., Bruer, J.T., Symons, F.J. y Lichtman, J.W. (Eds.). (2001). *Critical thinking about critical periods*. Toronto: Brookes.
- Balter, M. (2004). Seeking the key to music. *Science*, 306, 1120-1122.
- Bartels, A. y Zeki, S. (2004): The neural correlates of maternal and romantic love. *Neuroimage*, 21, 1155 - 1166.
- Baumgartner, T., Lutz, K., Schmidt, C.F. y Jancke L. (2006): The emotional power of music: How music enhances the feeling of affective pictures. *Brain Research*, 1075, 141-164.
- Blood, A.J. y Zatorre, R. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 98, 11818-11823.
- Brown, S. (2000): The "Musilanguage" Model of music evolution. En N.L. Wallin, B. Merker y S. Brown (Eds.), *The Origin of the Music* (pp. 271-300). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Brown, W.A., Cammuso, K., Sachs, H., Winklosky, B., Mullane, J., Bernier, R., Svenson, S., Arin, D., Rosen-Sheidley, B. y Folstein, S.E. (2003). Autism-related language, personality, and cognition in people with absolute pitch: Results of a preliminary study. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 33, 163-167.
- Chang, E.F. y Merzenich, M.M. (2003). Environmental noise retards auditory cortical development. *Science*, 300, 498-502.
- Crozier, J.B. (1997). Absolute pitch: Practice makes perfect, the earlier the better. *Psychology of Music*, 25, 110-119.
- Darwin, C. (1871). *The descent of man, and selection in relation to sex* (2 vols.). London: John Murray.
- Dorrel, P. (2005). *What is music: Solving a Scientific Mystery*. En <http://whatismusic.info>

- Drayna, D., Manichaikul, A., de Lange, M., Snieder, H. y Spector, T. (2001). Genetic correlates of musical pitch recognition in humans. *Science*, 291, 1969–1972.
- Dunbar, R.I.M. (2003): The Social Brain: Mind, Language, and Society in Evolutionary Perspective. *Annual Review Anthropology*, 32, 163–81.
- Elbert, T., Pannev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B. y Taub, E. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, 270, 305-7.
- Esch, T. y Stefano, G.B. (2004): The neurobiology of pleasure, reward processes, addiction and their health implications. *Neuroendocrinology Letters*, 25, 235-251.
- Fishman, Y.I., Volkov, I.O., Noh, M.D., Garell, P.C., Bakken, H., Arezzo, J.C., Howard, M.A. y Steinschneider, M. (2001). Consonance and dissonance of musical chords: neuronal in auditory cortex of monkeys and humans. *Journal Neurophysiology*, 86, 271–278.
- Fodor, J. (1983). *The Modularity of Mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Freeman, W. (1995). *Societies of Brains: A Study in the Neuroscience of Love and Hate*. NJ: Etlbaum.
- Freeman, W. (2000). A Neurobiological Role of Music in Social Bonding. En N.L. Wallin, B. Merker y S. Brown, (Eds.), *The Origins of Music* (pp. 411-424). Cambridge: MIT Press.
- Fukui, H. y Yamashita, M. (2003): The effects of music and visual stress on testosterone and cortisol in men and woman. *Neuroendocrine Letters*, 24,173–180.
- Gaser, C. y Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *Journal of Neuroscience*, 23, 9240-5.
- Gregersen, P., Kowalsky, E., Kohn, N. y Marvin, E. (2000). Early childhood music education and predisposition to absolute pitch: teasing apart genes and environment. *American Journal Medical Genetics*, 98, 280–282.
- Halpern, A.R. y Zatorre, R.J. (1999). When that tune runs through your head: A PET investigation of auditory imagery for familiar melodies. *Cerebral Cortex*, 9, 697-704
- Harrison, R.V., Stanton, S.G., Nagasawa, A., Ibrahim, D. y Mount, R. (1993). The effects of long-term cochlear hearing loss on the functional organization of central auditory pathways. *Journal of Otolaryngology*, 22, 4-11
- Hauser, M.D., Chomsky, N. y Fitch, W.T. (2002). The faculty of language: what is it, who has it, and how did it evolve?. *Science*, 298, 1569-1579.



- Hauser, M.D. y McDermott, J. (2003). The evolution of the music faculty: a comparative perspective. *Nature Neuroscience*, 6, 663-8.
- Heaton, P., Hermelin, B. y Pring, L. (1998). Autism and pitch processing: A precursor for savant musical ability. *Music Perception*, 15, 291-305.
- Hulse, S.H. y Cynx, J. (1985). Relative pitch perception is constrained by absolute pitch in song birds (*Mimus Molothrus* and *Sturnus*). *Journal of Comparative Psychology*, 99, 176-196.
- Huron, D. (1999). *An Instinct for Music: Is Music an Evolutionary Adaptation? The 1999 Ernest Bloch Lectures*, 2. En <http://music-cog.ohio-state.edu/Music220/Bloch.lectures/2.Origins.html>
- Huron, D. (2001). Is music an evolutionary adaptation? *Annals of the New York Academy of Science*, 930, 43-61
- Huron, D. (2005). The plural pleasures of music. En J. Sundberg y W. Brunson (Eds.), *Proceedings of the 2004 Music and Music Science Conference* (pp. 1-13). Stockholm: Kungliga Musikhögskolan & KTH (Royal Institute of Technology).
- Justus, T.C. y Bharucha, J.J. (2002). Music perception and cognition. En S. Yantis y H. Pashler (Eds.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology, Volume 1: Sensation and Perception* (Third Edition) (pp. 453-492). New York: Wiley.
- Kanazawa, S. (2000). Scientific discoveries as cultural displays: a further test of Miller's courtship model. *Evolution and Human Behavior*, 21, 317-321.
- Kass, J.H., Hackett, T.A. y Tramo, M.J. (1999). Auditory processing in primate cerebral cortex. *Current Opinion in Neurobiology*, 9, 164-170.
- Keenan, J., Thangaraj, V., Halpern, A. y Schlaug, G. (2001). Absolute pitch and planum temporale. *Neuroimage*, 14, 1402-1408.
- Khalfa, S., Schon, D., Anton, J.L. y Liegeois-Chauvel, C. (2005): Brain regions involved in the recognition of happiness and sadness in music. *Neuroreport*, 16(18), 1981-1984.
- Koelsch, S. y Friederici, A.D. (2003). Toward the neural basis of processing structure in music: Comparative results of different neurophysiological investigation methods. En G. Avanzini, C. Faienze, D. Minciacchi, L. Lopez y M. Majno (Eds.), *The neurosciences and music. Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 999 (pp. 15-28). New York: New York Academy of Sciences.
- Koelsch, S., Fritz, T., Schulze, K., Alsop, D. y Schlaug, G. (2005). Adults and children processing music: an fMRI study. *Neuroimage*, 25, 1068-76.

- Kunej, D. y Turk, I. (2000). New perspectives on the beginnings of music: Archeological and musicological analysis of a middle paleolithic bone "flute". En N.L. Wallin, B. Merker y S. Brown (Eds.), *The Origins of Music* (pp. 235-268). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Levitin, D.J. (2000). In search of the musical mind. *Cerebrum*, 2(4), 1-24.
- Levitin, D.J., Cole, K., Chiles, M., Lai, Z., Lincoln, A. y Bellugi, U. (2004). Characterizing the musical phenotype in individuals with Williams Syndrome. *Child Neuropsychology*, 10(4), 223-247.
- MacDougall-Shackleton, S.A. y Hulse, S.H. (1996). Concurrent absolute and relative pitch processing by European starlings (*Sturnus vulgaris*). *Journal of Comparative Psychology*, 110, 139-146.
- McDermott, J. y Hauser, M.D. (2004). Are consonant intervals music to their ears? Spontaneous acoustic preferences in a nonhuman primate. *Cognition*, 94, B11-B21.
- Miller, G.F. (2000). Evolution of human music through sexual selection. En N.L. Wallin, B. Merker y S. Brown (Eds.), *The Origins of Music* (pp. 329-360). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Motley, I. (2003). *The Evolutionary Origins and Archaeology of Music*. Tesis Doctoral. Darwin College, Universidad de Cambridge. En <http://www.dar.cam.ac.uk/dcrr/dcrr002.pdf>
- Otte, A., De Bondt, P., Van de Wiele, Ch., Audenaert, K. y Dierckx, R.A. (2003). The exceptional brain of Maurice Ravel. *Medical Science Monitor*, 9(6), 154-159.
- Panksepp, J. y Bernatzky, G. (2002). Emotional sounds and the brain: The neuro-affective foundations of musical appreciation. *Behavioural Processes*, 60, 133-155.
- Pantev, C., Hoke, M., Luetkenhoener, B. y Lehnertz, K. (1989). Tonotopic organization of the auditory cortex: Pitch versus frequency representation. *Science*, 246, 486-488
- Pantev, C., Oostenveld, R., Engelien, A., Ross, B., Roberts, L. E. y Hoke, M. (1998). Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature*, 392, 811-814
- Pantev, C., Roberts, L.E., Schulz, M., Engelien, A. y Ross, B. (2001). Timbre-specific enhancement of auditory cortical representations in musicians. *Neuroreport*, 12, 1-6.
- Payne, K. (2000). The progressively changing songs of humpback whales: A window on the creative process in a wild animal. En N.L. Wallin, B. Merker y S. Brown (Eds.), *The Origins of Music* (pp. 135-150). Cambridge: MIT Press.

- Peretz, I. y Coltheart, M. (2003). Modularity of music processing. *Nature Neuroscience*, 6, 688-691.
- Peretz, I. y Hyde, K.L. (2003). What is specific to music processing? Insights from congenital amusia. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(8), 362-367.
- Petrides, M. (1995). Functional organization of the human frontal cortex for mnemonic processing: evidence from neuroimaging studies. *Annals of the New York Academy of Science*, 769, 85-96.
- Pinker, S. (1997). *How the Mind Works*. New York: Norton.
- Popp, A.J. (2004). Music, musicians, and the brain: An exploration of musical genius. *Journal of Neurosurgery*, 101, 895-903.
- Poundstone, W. (2005). *El Dilema del Prisionero*. Alianza Editorial, Madrid.
- Ramus, F., Nespore, M. y Mehler, J. (1999). Correlates of linguistic rhythm in the speech signal. *Cognition*, 73, 265-292.
- Rimland, B. y Fein, D. (1988). Special talents of autistic savants. En L.K. Obler y D. Fein (Eds.), *The exceptional brain* (pp. 474-492). New York: Guilford Press.
- Sanes, D.H., Reh, T.A. y Harris, W.A. (2002). *El desarrollo del sistema nervioso*. Barcelona: Editorial Ariel Neurociencia.
- Schellenberg, E.G. y Trehub, S.E. (1996). Natural musical intervals: Evidence from infant listeners. *Psychological Science*, 7, 272-277.
- Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y. y Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science*, 267, 699-701
- Schneider, P., Scherg, M., Dosch, H.G., Specht, H.J., Gutschalk, A. y Rupp, A. (2002). Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neuroscience*, 5, 688-694
- Sluming, V., Barrick, T., Howard, M., Cezayirli, E., Mayes, A. y Roberts, N. (2002). Voxel-based morphometry reveals increased gray matter density in Broca's Area in male symphony orchestra musicians. *Neuroimage*, 17, 1613-1622.
- Sokhi, D.S., Hunter, M.D., Wilkinson, I.D. y Woodruff, P.W. (2005). Male and female voices activate distinct regions in the male brain. *Neuroimage*, 27(3), 572-8.
- Tagg, Ph. (2002). *Towards a Definition of 'Music'*. Tomado de un texto provisional para un curso titulado 'A Short Prehistory of Popular Music'. En <http://www.tagg.org/reaching/musdef.pdf>
- Takeuchi, A. y Hulse, S. (1993). Absolute pitch. *Psychology Bulletin*, 113, 345-361.

- Trainor, L.J. (2005). Are there critical periods for musical development?. *Developmental Psychobiology*, 46, 262-78.
- Trainor, L.J. y Desjardins, R.N. (2002). Pitch characteristics of infant-directed speech affect infants' ability to discriminate vowels. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9, 335-340.
- Trainor, L.J., Desjardins, R.N. y Rockel, C. (1999). A comparison of contour and interval processing in musicians and non-musicians using event-related potentials. *Australian Journal of Psychology*, 51, 147-153
- Trainor, L.J. y Heinmiller, B.M. (1998). The development of evaluative responses to music: Infants prefer to listen to consonance over dissonance. *Infant Behavior and Development*, 21, 77-88.
- Trainor, L.J. y Trehub, S.E. (1992). A comparison of infants' and adults' sensitivity to Western musical structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 394-402
- Trainor, L.J., Tsang, C.D. y Cheung, V.H.W. (2002). Preference for consonance in 2-month-old infants. *Music Perception*, 20, 185-192
- Trehub, S.E. (2003). The developmental origins of musicality. *Nature Neuroscience*, 6, 669-73.
- Trehub, S.E., Schelleberg, E.G. y Kameuetsky, S.B. (1999). Infants' and adults' perception of scale structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 965-975.
- Trehub, S.E., Thorpe, L.A. y Morrongiello, B.A. (1987). Organizational processes in infants' perception of auditory patterns. *Child Development*, 58, 741-749.
- Trehub, S.E., Thorpe, L.A. y Trainor, L.J. (1990) Infants' perception of good and bad melodies. *Psychomusicology*, 9, 5-19.
- Vancechoutte, M. y Skoyles, J.R., (1998). The memetic origin of language: modern humans as musical primates. *Journal of Memetics - Evolutionary Models of Information Transmission*, 2(2). En [http://cfpm.org/jom-emit/1998/vol2/vancechoutte\\_m&skoyles\\_jr.html](http://cfpm.org/jom-emit/1998/vol2/vancechoutte_m&skoyles_jr.html)
- Weinberger, N. (2005) Música y cerebro. *Investigación y Ciencia*, 340, 27-33.
- Wildgruber, D., Herrich, I., Riecker, A., Erb, M., Anders, S., Grodd, W. y Ackermann, H. (2004). Distinct frontal regions subserved evaluation of linguistic and emotional aspects of speech intonation. *Cerebral Cortex*, 14(12), 1384-9.
- Wildgruber, D., Riecker, A., Herrich, I., Erb, M., Grodd, W., Erhofer, T. y Ackermann, H. (2005): Identification of emotional intonation evaluated by fMRI. *Neuroimage*, 24(4), 1233-41.

- Wright, A.A., Rivera, J.J., Hulse, S.H., Shyan, M. y Neiworth, J.J. (2000). Music perception and octave generalization in rhesus monkeys. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129, 291–307.
- Young, L.J. y Wang, Z. (2004). The neurobiology of pair bonding. *Nature Neuroscience*, 7(10), 1048-54.
- Zahavi, A. (1997). *The Handicap Principle*. New York: Oxford University Press.
- Zatorre, R.J. (2003a). Neural specializations for tonal processing. En I. Peretz y R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 231-246). Oxford, England: Oxford University Press.
- Zatorre, R.J. (2003b). Absolute pitch: a model for understanding the influence of genes and development on neural and cognitive function. *Nature Neuroscience*, 6, 692-5.
- Zatorre, R.J., Perry, D.W., Beckett, C.A., Westbury, C.F. y Evans, A.C. (1998). Functional anatomy of musical processing in listeners with absolute pitch and relative pitch. *Proceedings of the National Academic of Sciences. USA*, 95, 3172–3177.
- Zentner, M. R., y Kagan, J. (1998). Infant perception of consonance and dissonance in music. *Infant Behavior and Development*, 21, 483-492
- Zentner, M.R. y Kagan, J. (1996). Perception of music by infants. *Nature*, 383, 29.
- Zhang, L.I., Bao, S. y Merzenich, M.M. (2002). Disruption of primary auditory cortex by synchronous auditory inputs during a critical period. *Proceedings of the National Academy of Sciences. USA* , 99, 2309-2314.