

Neurociencia de la creatividad musical

M. Arias Gómez

Servicio de Neurología. Hospital Clínico Universitario de Santiago de Compostela, España.

RESUMEN

La creatividad podría definirse como la capacidad personal o colectiva que permite generar ideas novedosas y útiles, teniendo en cuenta el contexto temporal y cultural en el que tales ideas surgen y cristalizan en obras. Esta función cerebral tiene gran importancia evolutiva y, en lo que a la música se refiere, posee una relevante función cultural, ya que la música es un lenguaje con un procesado cerebral particular, que ha estado presente en todas las civilizaciones y tiempos. La herencia y el medio, incluidos el aprendizaje y la práctica, son condicionantes de la creatividad musical, en la que intervienen diversas redes neuronales: debe subrayarse el especial protagonismo del diálogo/lucha que establecen la red por defecto (introspección) y la de la función ejecutiva (valoración decisiva); la red de la saliencia/relevancia (ínsula) actúa como moderador. También intervienen el sistema motor, el circuito de la recompensa, de las neuronas en espejo (empatía) y el sistema límbico, soporte de la creatividad musical (estado emocional). Esta no requiere un cociente intelectual muy elevado. Mediante diversas técnicas neurofisiológicas y de neuroimagen, tanto estructural como funcional, se va aclarando la intervención de las mencionadas redes neuronales y el especial protagonismo del hemisferio cerebral derecho y del lóbulo prefrontal. Hay que reconocer que la creatividad musical es un fenómeno complejo del que, por el momento, solo se conoce una pequeña parte de la funcionalidad cerebral en él implicada.

PALABRAS CLAVE

Neuromusicología, neurociencia y creatividad, creatividad musical, redes neuronales competitivas.

Introducción

Llamamos creatividad a la capacidad que permite generar ideas originales o novedosas que pueden materializarse en teorías, formulaciones matemáticas, producciones artísticas, invenciones o modificaciones de objetos, y cristalizar en nuevas aportaciones o logros, siempre teniendo en consideración el marco sociocultural en el que surgen. A menudo, los resultados conceptuales, estéticos o materiales de la creatividad aportan soluciones para problemas presentes o bien se adelantan a retos futuros. Definida con pocas palabras, la creatividad es la capacidad de generación de productos nuevos y útiles¹.

La creatividad facilita la adaptación al medio y puede, en casos puntuales, convertirse en un factor evolutivo de capital importancia, tal como ha ocurrido con algunos de los más importantes logros creativos y descubrimientos: la rueda, la escritura, la imprenta, el heliocentrismo, la ley de la gravedad, la máquina de vapor, la electricidad, la teoría de la evolución, la teoría de la relatividad, el motor de combustión interna, los agentes infecciosos, las vacunas, la penicilina, el código genético, el telégrafo, el teléfono, la radio, la televisión, el internet y la inteligencia artificial, sin desdeñar el impacto de determinadas ideas religiosas, filosóficas y cosmológicas, y la singular

aportación de numerosas creaciones en distintas parcelas del arte (literatura, música, pintura, arquitectura, teatro, ópera, cine).

Persona creativa, perímetro (entorno) del creador, *proceso* creativo y *producto* creado constituyen los “cuatro pilares” (las cuatro P) de la creación² (figura 1).

La creatividad como capacidad inventiva ha sido objeto de estudio en el seno de múltiples disciplinas (psicología, historia del arte y de la ciencia, filosofía, sociología, estética, pedagogía, politología...). Actualmente, partiendo de la general aceptación de que la capacidad creativa no es un “don divino” sino el resultado de la intervención de una capacidad cerebral especial, la neurociencia se está volcando en el estudio de los procesos cognitivos que intervienen en el vasto campo de la creación, la innovación y la invención³. Tres grandes compositores musicales como Johann S. Bach (1685-1750), Wolfgang A. Mozart (1756-1791) y Ludwig van Beethoven (1770-1827) fueron y todavía son considerados por muchos como “genios inspirados por la divinidad”.

En este trabajo se pretende realizar una revisión del conocimiento neurocientífico de los procesos cerebrales que, se postula, intervienen en los fenómenos creativos musicales.

Desarrollo

Neurociencia y creatividad

Para estudiar la función creativa, la neurociencia se ha ocupado en diseñar cuestionarios, escalas de medida, paradigmas y tareas relativamente sencillas y reproducibles, que sean compatibles con las técnicas neurofisiológicas y de neuroimagen, para poder así constatar los cambios de la funcionalidad encefálica. La CAT (Consensual Assessment Technique) es un instrumento de medida de la creatividad validado en diversas culturas⁴, del que se desarrollaron versiones especiales para la evaluar la creatividad musical ya en niños⁵.

La resonancia magnética (RM) ha pasado a ser la técnica de neuroimagen más utilizada ya que permite, según el propósito del estudio, la cuantificación de la superficie o volumen de diversas regiones encefálicas de interés (RM morfométrica), o bien detectar, durante una tarea, la activación de diversas áreas, ya que la extracción de oxígeno de la sangre que arriba al cerebro es proporcional a tal activación y da lugar a una señal medible y cuantificable (RM funcional y BOLD [*blood oxygenation level-dependent*]). La valoración de la sincronización

temporal en los patrones de activación de distintas regiones cerebrales, mediante un procesado estadístico de los datos, permite inferir el grado de conectividad entre ellas⁶. La tomografía por emisión de positrones, utilizando como radiotrazador la 18-fluorodeoxiglucosa (18FDG-PET), también ha sido empleada en distintos estudios, ya que permite mostrar las regiones cerebrales de mayor consumo de glucosa, que estarían implicadas en la ejecución de la tarea utilizada en la investigación. La electroencefalografía, la magnetoencefalografía y el estudio de los potenciales evocados son las principales técnicas neurofisiológicas que también han sido utilizadas y no debemos olvidar tampoco la creciente utilización de la estimulación magnética transcortical (EMT).

El poder creativo se asocia a determinados rasgos de personalidad: extroversión, amabilidad, escrupulosidad, neuroticismo y, sobre todo, mente abierta a la experiencia/intelecto. Estos se enumeran como los “cinco grandes rasgos de la creatividad”, aunque el principal sería el último binomio (*openness/intellect*). Una mente abierta a múltiples experiencias predomina en los artistas, mientras que el intelecto operaría más en los científicos⁷.

En la generación de ideas novedosas y útiles intervienen el pensamiento divergente (encuentra múltiples y posibles soluciones para un problema) y el pensamiento convergente (selecciona la solución más adecuada). En algunos casos, un determinado tipo de psicopatología potencia o disminuye el poder creativo: la depresión y la ansiedad bloquearían, aunque no siempre, algunos procesos creativos; el trastorno bipolar, el alcoholismo y determinados casos de esquizofrenia actuarían en sentido contrario⁸. En algunos subtipos de demencia se constata un incremento creativo o incluso una creatividad emergente⁹; hay casos particulares de demencia frontotemporal que cursan con un incremento de la creatividad en varios campos a la vez, como pintura y literatura-música¹⁰.

El sujeto creativo realiza asociaciones entre sus percepciones del mundo exterior y su mundo interno; este cojunto genera nuevas ideas, con las que tratará de formular y, finalmente, aportar soluciones novedosas. Los modelos clásicos de la creatividad¹¹ hablan de cinco fases en el proceso creativo: preparación, incubación, intimación, iluminación y verificación. Otros autores las reducen a cuatro: iluminación, incubación, preparación y verificación⁸ (figura 1).

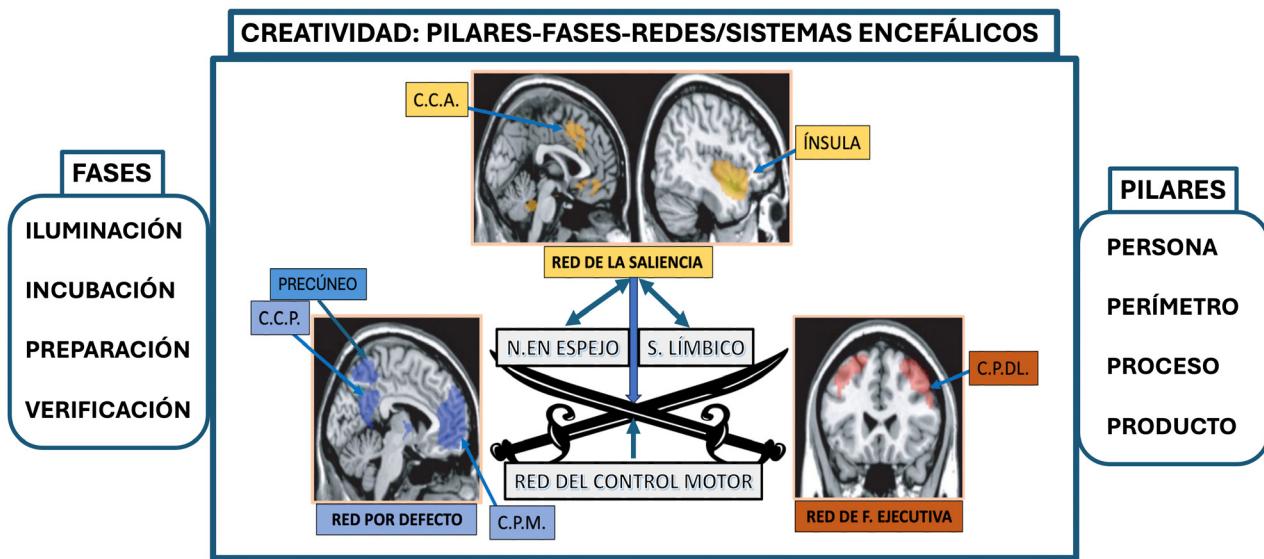


Figura 1. La imagen ilustra y resume las fases y pilares de la creación, además de las redes y sistemas neuronales implicados en la creatividad. C.C.A.: parte anterior de circunvolución cingular; C.C.P.: parte posterior de circunvolución cingular; C.P.M.: córtex prefrontal medial; C.P.DL.: córtex prefrontal dorsolateral.

El proceso creativo es complejo y diverso; son patentes las diferencias entre las innovaciones de tipo conceptual, estético y material. Así, dentro de la creatividad estética-plástica, la intervención auditiva tiene un peso definitivo en la música; lo mismo ocurre con la función visual en la pintura, escultura y arquitectura. La introspección y la imaginación están detrás de todo proceso creativo; también se acepta que, en la generación de ideas novedosas, sobre todo en las de tipo conceptual, la inteligencia potencia la creatividad, aunque debemos señalar que procesos de desinhibición, a veces desencadenados por distintos tipos de psiconeuropatología, están detrás de la creatividad artística. Clásicamente se ha atribuido a la intuición y a los sueños un papel relevante en ciertos momentos creativos. Un cociente intelectual elevado no es sinónimo de poder creativo, aunque la creatividad artística se relaciona más con una mente abierta y la científica con el intelecto.

El desarrollo del lóbulo frontal caracteriza a la especie *Homo sapiens sapiens*: a tal porción encefálica se le

asigna un papel principal en la cognición, el lenguaje y el comportamiento¹²; lo mismo podríamos decir de la creatividad. Ahora se considera que el cerebro tiene un funcionamiento global, llevado a cabo por redes neuronales que conectan múltiples regiones encefálicas: el lóbulo prefrontal comparte protagonismo con el temporal y el parietal, sin olvidarnos del sistema límbico, los ganglios basales y el cerebelo.

En los procesos creativos tienen un papel estelar dos redes neuronales encefálicas: la “red por defecto” (*default network*) y la “red del control ejecutivo”. La primera se relaciona con la memoria episódica, imaginación, simulación, y pensamiento divergente; guía los primeros pasos en la generación de ideas creativas¹³. La segunda evalúa, filtra, modifica y dirige hacia un objetivo concreto o específico (pensamiento convergente) las propuestas elaboradas-imaginadas por la red por defecto. Ambas redes mantienen, durante el proceso creativo, una especie de diálogo antagónico y, en ciertos pasos, también de cooperación (figura 1). Cabe señalar también la implicación

de la red de la saliencia (relevancia) con su nodo principal (*hub*), la ínsula, que ejerce como conmutador/modulador de la activación alternativa de la red por defecto y de la del control ejecutivo.

En todos los procesos creativos intervienen numerosas funciones encefálicas, entre las que destacan la atención, la curiosidad, la función ejecutiva, la memoria explícita e implícita, y una flexibilidad cognitiva global, sin olvidar a la intuición, aderezada ésta por la íntima satisfacción de estar ante algo novedoso y gratificante. En la creatividad, se ha propuesto que un fenómeno de competitividad entre la memoria implícita y explícita, con cierta atenuación del lóbulo prefrontal, potenciaría la función intuitiva; se denomina efecto Andras¹⁴.

Música y musicalidad

La música se define clásicamente como el arte de combinar sonidos y silencio en el tiempo. Los sonidos y el silencio están omnipresentes en la naturaleza, pero tienen en la música una cierta connotación de propósito: la música es un lenguaje que puede evocar, transmitir y hasta reafirmar emociones. Al hablar de lenguaje, de emociones, de intencionalidad y de arte, nos estamos refiriendo a una función cerebral con una dimensión colectiva de comunicación y vinculación afectiva¹⁵. La música mantiene una importante relación y conexión con otras artes (literatura, teatro, cine); esta interacción potencia el efecto comunicativo.

La musicalidad es la capacidad de un determinado individuo o colectividad para percibir, reproducir o crear productos musicales. Tono, timbre, intensidad, ritmo, contorno-melodía y armonía son los componentes principales del lenguaje musical¹⁶. Cantar, tocar un instrumento, dirigir un conjunto musical, componer, arreglar y orquestar, crear una coreografía y/o ejecutarla, actuar como ingeniero de grabación o como pinchadiscos (DJ), además de ejercer como oyente, son múltiples y variadas acciones en las que interviene la musicalidad.

Para algunos autores¹⁷, el origen filogenético de la música y el lenguaje pudo partir de un común “musilenguaje”, ya presente en los ancestros, para facilitar la comunicación por vía auditiva y que derivaría, durante el proceso evolutivo, en dos sistemas diferenciados con procesados cerebrales distintos. En el cerebro no existe una única área musical específica. Con técnicas de neuroimagen se ha comprobado que los distintos componentes del lenguaje musical se procesan en regiones encefálicas

diferentes. La música posee una organización sintáctica, en la que son partes capitales las secuencias de sonidos de distintos tonos y su temporalidad (ritmo)¹⁸. El habla y la música comparten, como fenómenos principales, la generación de sonidos y la recepción de los mismos por la vía auditiva, pero su procesado cerebral posterior y, en último caso, sus propósitos son distintos; cada uno de estos lenguajes tiene su propia sintaxis, en la que, bajo reglas complejas, distintos elementos se combinan en secuencias determinadas¹⁹. El griego Aristóteles (384-322 a. C.) señaló que el hablar era un rasgo esencial de la condición humana; unos siglos después, Jesucristo fue considerado como la palabra suprema que se hizo carne humana (*et verbum caro factum est*); la lógica nos lleva a pensar que se hizo carne (hombre) para poder hablar. Se denomina efecto Baldwin al hecho de que un rasgo generado en el seno de una cultura determinada pase, por intervención de la selección natural, a ser una condición instintiva y heredable: la plasticidad cerebral producida por el aprendizaje se transmite a la descendencia²⁰. La música está presente en todas las culturas humanas; la musicalidad es considerada un proceso de la evolución biológica²¹.

Música e imaginación

La imaginación (imagería mental), tanto de tipo visual como auditiva o combinadas ambas, está presente en el cerebro de los compositores y puede potenciar la creación musical. Pueden servirnos como ejemplos los ondulantes arpegios del quinteto con piano de *La trucha* de Franz P. Schubert (1797-1828) que evocan los saltos de este pez en el agua y los sonidos de distintos animales, imitados por Camille Saint-Saëns (1835-1921) en su *Carnaval de los animales*²². En muchas composiciones, la lectura y representación mental de un texto literario (poético, dramático o novelesco...) han contribuido decisivamente a la imagería mental de su compositor: la *Oda a la alegría* del poeta Friedrich V. Schiller (1759-1805), ligada para siempre al *Finale* de la sinfonía *Coral* (la novena) de Beethoven, es un magnífico ejemplo. *Adiós ríos, adiós fontes* de la poetisa gallega Rosalía de Castro (1837-1885), dedicada al perenne drama del fenómeno de la emigración en su patria chica, ha inspirado la composición del músico galaico-berciano Amancio Prada (1949) y muchas de sus sentidas interpretaciones.

Sinestesia

El término sinestesia hace alusión a un especial fenómeno perceptivo, presente en algunos sujetos, en los que una amplia variedad de estímulos (inductores), tales como números, días de la semana, sonidos, colores..., desencadenan diversas percepciones (concurrentes), tales como sonidos, sensaciones táctiles, sabores, y colores o representaciones visuales. Se cree que esta especial capacidad facilita la creación artística^{23,24}. El austrohúngaro Franz Liszt (1811-1886), el francés Olivier Messiaen (1908-1992), el ruso Alexander Scriabin (1872-1915) y el finlandés Jean Sibelius (1865-1957) son reconocidos músicos y compositores sinestésicos. El pintor ruso Vasili Kandinsky (1866-1944) y los escritores Arthur Rimbaud (1854-1891) y Vladimir Nabokov (1899-1977) también pueden incluirse en este elenco de sinestésicos confesos.

La sinestesia auditivo-visual es la más común: en el cerebro la percepción auditiva concierne al lóbulo temporal, pero también participa en el reconocimiento visual, mediante conexiones directas con el lóbulo occipital, encargado del procesado de formas y colores; en el lóbulo parietal asienta la representación espacial. Más que áreas concretas, en los sinestésicos operaría una red conectora de áreas sensoriales, sensitivas, motoras y región pre-frontal²⁵. Los sujetos sinestésicos múltiples poseen una mayor capacidad creativa, con empleo de pensamiento divergente²⁶.

Musicalidad y herencia

Es de general conocimiento la agregación familiar de la musicalidad y de la capacidad creativa musical: más de la mitad de los músicos profesionales son hijos de un progenitor también músico. El ejemplo más socorrido es el de la familia de J.S. Bach, en la que, a lo largo de seis generaciones, se han documentado más de 30 músicos (instrumentistas y compositores)²⁷. En España, destaca la saga de los García (cantantes, compositores y docentes), que parte del sevillano Manuel García (1775-1832) y continúa con sus hijos Manuel Patricio, María Malibrán y la celeberrima Pauline Viardot, y, así, hasta cuatro generaciones. Estudios genéticos realizados en gemelos, tanto monocigóticos como dicigóticos, han demostrado un gran peso de la herencia (70%-80%) en el reconocimiento tonal²⁸; sin embargo, la influencia del ambiente y, en concreto, del entrenamiento también es muy importante²⁹.

En una revisión reciente de distintos estudios genéticos³⁰, se listan más de 20 genes principales asociados a la musicalidad. De estos genes destacamos:

- 1) *GATA2*, que interviene en el desarrollo de la cóclea auditiva y además regula el gen *SNCA*, que codifica la síntesis de alfa-sinucleína, una proteína implicada en la enfermedad de Parkinson, la enfermedad por cuerpos de Lewy difusos y la atrofia multisistémica (AMS); este gen *SNCA* se localiza en 4q22, región del cromosoma 4 muy relacionada con la función dopaminérgica, que tiene un gran peso en la musicalidad: su expresión aumenta con la escucha y práctica musical.
- 2) *PCDH7* es el gen de la protocadherina 7, que se expresa en las células peludas de la cóclea (reconocen los tonos) y en el complejo amigdalino (emociones).
- 3) *FOXP1* y *FOXP2* son genes relacionados con el desarrollo del habla y con la música. La función dopaminérgica no solo está implicada en el control motor sino también en los mecanismos de recompensa y, en los pájaros, tiene un papel importante en su canto.
- 4) Los haplotipos RS1 y RS3 del gen *AVPR1A* (12q14.2), que codifica la síntesis del receptor 1A de la arginina-vasopresina, se asocian fuertemente con el poder creativo.

Se calcula que el coeficiente del impacto de la herencia en la creatividad musical general es de 0,84, para la composición de 0,4, para los arreglos-orquestación de 0,46, y para la improvisación de 0,62²⁷.

Oído absoluto y amusia congénita

El oído absoluto se define como la capacidad de reconocer la altura tonal de un sonido determinado sin precisar de la referencia de otro. Esta especial habilidad está presente en 1 de cada 1500-10 000 individuos (variación étnica y mayor frecuencia en asiáticos). El tener oído absoluto no se considera imprescindible para ser músico profesional y algunos autores sostienen que puede adquirirse. Los poseedores de oído absoluto suelen comenzar a estudiar música a edades más tempranas; en ellos se observa una asimetría entre ambos lóbulos temporales, con mayor tamaño del *planum temporale* (parte situada detrás de corteza auditiva), en los estudios de RM morfométrica. Se ha constatado una cierta agregación familiar del oído absoluto, pero no se ha demostrado una clara asociación a un determinado gen o a un *locus* cromosómico concreto (herencia heterogénea); la concordancia en gemelos monocigóticos es del 75%, y baja al 45% en

dicigóticos. El oído absoluto es más prevalente en pacientes afectos del síndrome de Williams, que se produce por una microdeleción hemicigótica (abarca 26-28 genes, entre ellos el de la elastina) en uno de los cromosomas 7 (7q11.23). El fenotipo de este síndrome incluye especiales habilidades para la música (suelen comenzar a practicar a temprana edad), también para el reconocimiento de las caras y para el desarrollo del lenguaje hablado; por el contrario, los afectados presentan dificultades en la realización de tareas visuoespaciales y matemáticas, en el pensamiento abstracto y el aprendizaje en general, y su cociente intelectual suele ser bajo³¹.

Entre el 1% y el 4% de la población presenta, sin haber sufrido ninguna lesión encefálica ni ningún tipo especial de privación educacional, un trastorno de la percepción tonal (muchas veces también melódica y rítmica) que se denomina amusia congénita. Este trastorno no se acompaña de alteración de la agudeza auditiva ni se relaciona con problemas en el procesado del lenguaje hablado ni de su prosodia. La asociación a cociente intelectual más bajo es controvertida: Sigmund Freud (1856-1939) era un reconocido amúsico. Existe una clara agregación familiar de la amusia congénita (46% en familiares de primer grado), pero la herencia, al igual que la del oído absoluto, es heterogénea. Se ha postulado que la amusia congénita estaría producida por un síndrome de desconexión entre el lóbulo temporal (circunvolución superior) y el lóbulo frontal (circunvolución inferior) derechos³². No hay duda de que la amusia congénita es un factor que tiene un gran impacto negativo en la creatividad musical.

Improvisación

La educación y el entrenamiento previo tienen un papel importante en todos los tipos de creatividad, tanto en la generación de múltiples ideas-soluciones (pensamiento divergente) como en la selección de la más adecuada (pensamiento convergente). En lo que atañe a la creatividad musical, si comparamos los intérpretes profesionales de la música clásica con los del jazz, estos últimos ejecutan y dominan más la improvisación, algo para lo que ya fueron entrenados en su aprendizaje, por lo que para algunos serían más creativos, aunque hay que decir que cada interpretación es algo nuevo y distinto; los conceptos y gustos artísticos varían con cada persona y en cada época³².

La improvisación musical puede considerarse como una composición instantánea y por lo tanto una condición

muy relacionada con la creatividad musical. Por este motivo, son numerosos los trabajos en que se ha evaluado, mediante RM funcional, la actividad cerebral relacionada con la improvisación musical. Un estudio, realizado a la pianista venezolana Gabriela Montero (1970), cualificada intérprete de música clásica pero también excepcional en el arte de improvisar, reveló que, durante la tarea de improvisación, presentaba disminución de la conectividad entre los nodos de la red por defecto y un incremento de tal conectividad en nodos de la red visual (cortex parietal y occipital); sería indicativo de una situación denominada *flow state*, en la que la concentración (focalización) en una tarea concreta es máxima y se atenua la introspección, lo que explicaría el funcionamiento atenuado de la red por defecto³³.

Creatividad musical y neuroimagen cerebral

En 239 sujetos, a los que se administraron cuestionarios de creatividad musical, se realizaron estudios protocolizados de RM morfométrica. En los participantes con mayor nivel de creatividad (sobre todo en composición e improvisación musical) se encontró un aumento de la superficie de diferentes áreas corticales: *a*) en el hemisferio izquierdo, la circunvolución frontal superior, la orbitofrontal y el *planum temporale*; y *b*) en el hemisferio derecho, la circunvolución frontal superior, la temporal media y la orbitofrontal lateral; también se detectó un mayor volumen de la amígdala izquierda³⁴. Los autores concluyen que la creatividad musical se refleja en la estructura cerebral y tiene como soporte a la interacción entre la red por defecto, el sistema límbico (mayor experiencia emocional) y la red del control motor. En otros estudios de RM morfométrica se ha demostrado que los músicos, sobre todo los que comenzaron a practicar a temprana edad, poseen un mayor grosor del cuerpo caloso (conecta ambos hemisferios) y del fascículo arqueado (conecta el lóbulo temporal con el frontal).

Autores del mismo grupo de la Universidad de Nuevo México en Albuquerque (Estados Unidos)³⁵ estudiaron con RM a 218 sujetos, a los que se les administró el mismo cuestionario de creatividad musical del estudio de 2016; observaron que la “red por defecto” (cortex frontal medial, cortex temporal lateral, precúneo) está muy implicada en la creatividad musical, pero también lo está la función ejecutiva (cortex frontal dorsolateral), las áreas premotora y motora suplementaria, los ganglios basales y el cerebelo, todas ellas regiones encefálicas relacionadas con el control motor, sin olvidarnos de la amígdala

(emociones) y la ínsula anterior (saliencia). En una tabla de este último artículo³⁵ se resumen los hallazgos de muchos de los trabajos realizados sobre creatividad musical y neuroimagen y también con técnicas neurofisiológicas.

Conclusiones

Las múltiples facetas de la creatividad musical dependen de factores genéticos y ambientales (entorno cultural y entrenamiento). En tal capacidad intervienen diversas redes neuronales, entre la que destaca la interacción de la red por defecto y la red del control ejecutivo, ambas moduladas por la red de la saliencia; son también protagonistas las neuronas en espejo, la red del control motor, el sistema límbico y el circuito de la recompensa. Hay que reconocer que la creatividad musical es un fenómeno complejo del que, por el momento, solo se conoce una pequeña parte de la funcionalidad cerebral implicada.

Conflictos de interés

El autor declara que no existe ningún conflicto de interés. Parte de este trabajo ha sido presentado en la reunión del Grupo de Estudio de Humanidades e Historia (Reunión Anual de la SEN de 2023).

Bibliografía

- Kaufman AB, Kornilov SA, Bristol AS, Tan M, Grigorenko EL. The neurobiological foundations of creative cognition. En: Kaufman JC, Stenberg RJ, eds. *The Cambridge handbook of creativity*. Nueva York: Cambridge University Press; 2010. p. 216-32.
- Batey M. The measurement of creativity: from a definitional consensus to the introduction of a new heuristic framework. *Creativity Research Journal*. 2012;24:55-65.
- Rodríguez-Muñoz FJ. Contribuciones de la neurociencia al entendimiento de la creatividad humana. *Arte, Individuo y Sociedad*. 2011;23:45-54.
- Amabile TM. Social psychology of creativity: a consensual assessment technique. *J Pers Soc Psychol*. 1982;43:997-1013.
- Hickey M. An application of Amabile's consensual assessment technique for rating the creativity of children's musical compositions. *J Res Music Educ*. 2001;49:234-44.
- Sunavský A, Poppenk J. Neuroimaging predictors of creativity in healthy adults. *Neuroimage*. 2020;206:11692.
- Kaufman SB, Quilty LC, Grazioplene RG, Hiessh JB, Gray JR, Peterson JB, et al. Openness to experience and intellect differentially predict creative achievement in the arts and sciences. *J Pers*. 2016;84(2):248-58.
- Bogousslavsky J. Artistic creativity, style and brain disorders. *Eur Neurol*. 2005;54:103-11.
- Geser F, Jellinger KA, Fellner L, Wenning GK, Yilmazer-Hanker D, Haybaeck J. Emergent creativity in frontotemporal dementia. *J Neural Transm (Vienna)*. 2021;128:279-93.
- Erkkinen MG, Gutiérrez Zúñiga R, Carnero-Pardo C, Miller BL, Miller ZA. Artistic renaissance in frontotemporal dementia. *JAMA*. 218;319:1304-6.
- Wallas G. *The art of thought*. Nueva York: Harcourt Brace; 1926.
- Fuster JM. Frontal lobe and cognitive development. *J Neurocytol*. 2002;31:373-85.
- Beatty RE, Benedek M, Wilkins RW, Jauk E, Fink A, Silvia PJ, et al. Creativity and the default network: a functional connectivity analysis of the creative brain at rest. *Neuropsychologia*. 2014;64:92-8.
- Schipper K, Janacek K, Nemeth D. How do competitive neurocognitive processes contribute to artistic cognition? The Andras effect. *Leonardo*. 2021;54(6):679.
- Arias M. Música y cerebro: neuromusicología. *Neurosci Hist*. 2014;2:149-55.
- Levitin DJ. What does it mean to be musical? *Neuron*. 2012;73(4):633-7.
- Brown S. The "musilanguage" model of music evolution. En: Wallin NL, Merker B, Brown S, eds. *The origin of the music*. Cambridge (MA): MIT Press; 2010. p. 271-300.
- Peretz I, Zatorre RJ. Brain organization for music processing. *Annu Rev Psychol*. 2005;56:89-114.
- Patel AD. Language, music, syntax and the brain. *Nat Neurosci*. 2003;6:674-81.
- Podlipski P. The role of the Baldwin effect in the evolution of human musicality. *Front Neurosci*. 2017;11:542.
- Peretz I. The nature of music from a biological perspective. *Cognition*. 2006;100:1-32.
- Wong SSH, Lim SWH. Mental imagery boost music compositional creativity. *PLoS One*. 2017;12:e0174009.
- Ramachandran VS, Hubbard EM. Psychophysical investigations into the neural basis of synesthesia. *Proc Biol Sci*. 2001;268:979-83.
- Ramachandran VS, Hubbard EM. Synesthesia: a window into perception, thought and language. *Journal of Consciousness Studies*. 2001;8:3-34.
- Rouw R, Scholte HS, Colizoli O. Brain areas involved in synesthesia: a review. *J Neuropsychol*. 2011;5:214-42.
- Lunke K, Meier B. Creativity and involvement in art in different types of synesthesia. *Br J Psychol*. 2019;110(4):727-44.
- Szyftter K, Witt MP. How far musicality and perfect pitch are derived from genetic factors? *J Appl Genet*. 2020;6(3):407-14.
- Drayna D, Manichaikul A, De Lange M, Snieder H, Spector T. Genetic correlates of musical pitch recognition in humans. *Science*. 2001;291:1969-72.
- Hambrick DZ, Oswald FL, Altmann EM, Meinz EJ, Gobet F, Campitelli G. Deliberate practice: is that all it takes to become an expert? *Intelligence*. 2014;45:34-45.

30. Järvelä I. Genomics studies on musical aptitude, music perception, and practice. *Ann N Y Acad Sci.* 2018;1423:82-91.
31. Thakur D, Martens MA, Smith DS, Roth E. Williams syndrome and music: a systematic integrative review. *Front Psychol.* 2018;14:2203.
32. Kleinmuntz OM, Goldstein P, Mayseless N, Abecasis D, Shamay-Tsoory SG. Expertise in musical improvisation and creativity: the mediation of idea evaluation. *PLoS One.* 2014;9(7):e101568.
33. Barrett KC, Barrett FS, Jiradejvong P, Rankin SK, Landau AT, Limb CJ. Classical creativity: a functional magnetic resonance imaging (fMRI) investigation of pianist and improviser Gabriela Montero. *Neuroimage.* 2020;209:116496.
34. Bashwiner DM, Wertz CJ, Flores RA, Jung RE. Musical creativity “revealed” in brain structure: interplay between motor, default mode, and limbic networks. *Sci Rep.* 2016;6:20482.
35. Bashwiner DM, Bacon DK, Wertz CJ, Flores RA, Chohan MO, Jung RE. Resting state functional connectivity underlying musical creativity. *Neuroimage.* 2020;218:116940.