

Bases neuroanatómicas de la creatividad

Neuroanatomic Bases of Creativity

Bases neuroanatómicas da criatividade

Olena Klimenko¹

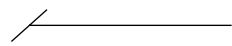
Recibido: 11.05.2017 - Arbitrado: 19.06.2017 - Aprobado: 10.07.2017

Resumen

La creatividad, siendo un aspecto prácticamente imprescindible en el desempeño social contemporáneo, ha tenido una importante atención por parte de los investigadores. Sin embargo, todavía son relativamente pocos los estudios que permiten acercarse a la comprensión de bases neuroanatómicas de los procesos creativos. La investigación moderna del cerebro presenta las funciones psíquicas superiores como sistemas complejos ordenados jerárquicamente, que surgieron a partir de las presiones evolutivas que impulsaron el desarrollo de estructuras neuronales cada vez más integradoras, capaces de procesar información cada vez más compleja, lo cual, a su vez, condujo a una mayor flexibilidad de comportamiento y adaptabilidad. La corteza cerebral, y en particular el córtex prefrontal, está en la parte superior de esa jerarquía, que representa la base neural de funciones cognitivas superiores del ser humano. La revisión bibliográfica realizada en el presente escrito presenta algunos estudios que exploran las bases neuroanatómicas de la creatividad, entre los cuales se destaca una importante y diferenciada participación de lóbulos frontales en coordinación con distintas regiones de áreas temporales, occipitales y parietales, revelando la presencia de diferentes rutas neurológicas según las diferentes formas del proceso creativo. Igualmente, se explora la posible relación entre el funcionamiento ejecutivo y creatividad, revelando que estos dos constructos comparten funciones cognitivas de orden superior. Los estudios muestran, sin embargo, bastantes datos contradictorios, lo cual indica la necesidad de profundizar en esta línea de investigación, con el fin de acercarse a una mayor comprensión objetiva de la creatividad y así precisar estrategias concretas y prácticas orientadas a su respectivo fomento desde el ámbito educativo.

-----**Palabras clave:** creatividad, funcionamiento ejecutivo, corteza cerebral.

1 Psicóloga, Magíster en Ciencias Sociales, PhD(c) en Psicopedagogía. Docente tiempo completo Institución Universitaria de Envigado. olenak45@gmail.com.



Abstract

Creativity, an aspect almost priceless in the contemporary social performance, has had an important attention on the part of researchers. However, there are still relatively few studies that attempt to approach the understanding of neuroanatomic bases of creative processes. Modern brain research presents superior psychic functions as complex systems hierarchically ordered, that emerged from the evolutionary pressures that drove the development of increasingly integrating neural structures capable of processing increasingly complex information, which in turn, led to greater flexibility of behavior and adaptability. The cerebral cortex, particularly the prefrontal cortex, is at the top of that hierarchy, which represents the neural basis of higher cognitive functions of the human being. The literature review carried out in the present paper, introduces some studies that explore the neuroanatomical bases of creativity, including an important and differentiated participation of frontal lobes in coordination with different regions of temporal, occipital and parietal areas, revealing the presence of different neurological routes according to different forms of the creative process. In the same way, the possible relationship between executive functioning and creativity is explored, revealing that these two constructs share cognitive functions of higher order. However, the studies show a great deal of contradictory data, which indicates the need to develop this line of research in order to approach a wider understanding of creativity and design, to concrete practical strategies oriented to its respective promotion from the educational field.

-----**Key words:** creativity, executive functioning, cerebral cortex

Resumo

A criatividade, sendo um aspecto quase inestimável no desempenho social contemporâneo, teve uma importante atenção por parte dos pesquisadores. No entanto, ainda existem relativamente poucos estudos que tentam abordar a base neuroanatômica dos processos criativos. A pesquisa moderna do cérebro apresenta funções psíquicas superiores como sistemas complexos e hierarquicamente ordenados que emergiram das pressões evolutivas que impulsionaram o desenvolvimento de estruturas neurais cada vez mais integrantes capazes de processar informações cada vez mais complexas, que por sua vez, levou a uma maior flexibilidade de comportamento e adaptabilidade. O córtex cerebral, e em particular o córtex pré-frontal, está no topo dessa hierarquia, que representa a base neural de funções cognitivas superiores do ser humano. A revisão da literatura realizada no presente trabalho apresenta alguns estudos que exploram as bases neuroanatômicas da criatividade, entre as quais uma participação importante e diferenciada dos lobos frontais em coordenação com diferentes regiões das áreas temporal, occipital e parietal, revelando a presença de diferentes rotas neurológicas de acordo com diferentes formas do processo criativo. Da mesma forma, a relação

possível entre o funcionamento executivo e a criatividade é explorada, revelando que essas duas construções compartilham funções cognitivas de ordem superior. Os estudos mostram, no entanto, uma série de dados contraditórios, o que indica a necessidade de aprofundar esta linha de pesquisa, a fim de abordar uma maior compreensão objetiva da criatividade, a fim de apertar estratégias concretas e concretas orientadas para a respectiva promoção do campo educacional.

-----**Palavras chave:** criatividade, funcionamento executivo, córtex cerebral.

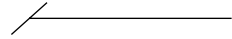
Introducción

En las últimas décadas, el avance tecnológico ha permitido a las ciencias comprender mucho más el funcionamiento psicológico del ser humano, sobre todo a partir de estudios basados en el empleo de la técnica de imagen de resonancia magnética funcional, permitiendo lograr significativos avances en neurociencia cognitiva (Armony, Trejo-Martínez y Hernández, 2012).

En este orden de ideas, también se abre una gran oportunidad para comprender mejor las complejas habilidades del ser humano, conceptualizadas como funciones psíquicas superiores. El primer acercamiento significativo a esta comprensión fue realizado por la escuela de psicología soviética, encabezado por avances en neuropsicología realizados por A. Luria, a partir de los estudios de lesiones cerebrales durante la Segunda Guerra Mundial. Actualmente, es posible identificar con mucha mayor precisión las áreas cerebrales implicadas en diferentes funciones psíquicas y comprender mejor su compleja estructura.

La creatividad, como una capacidad humana de gran complejidad, ha sido estudiada y abordada desde diferentes perspectivas, considerando aproximaciones desde el proceso, persona, producto y medio (De la Torre y Violant, 2006). Actualmente, el interés hacia la creatividad está creciendo cada vez más, debido a que la sociedad contemporánea avanza hacia una mayor exigencia frente a todo tipo de rendimientos y desempeños sociales tanto laborales, como académicos, donde los aspectos creativos, originales y novedosos son de mayor importancia. En este orden de ideas, la educación, a nivel internacional, enfrenta el reto de fomentar la creatividad en los estudiantes en todos los niveles educativos (Klimenko, 2009).

Sin embargo, para poder fomentarla es necesario comprender bien cuáles son sus componentes constitutivos, que, además, pueden ser influenciados desde los ambientes educativos. En este aspecto, es necesario abordar la creatividad como una capacidad psíquica del ser humano, que engloba, a su vez, sistemas funcionales de gran complejidad con una organización jerár-



quica, que se desarrollan y evolucionan durante la vida. Considerando el hecho de que esta compleja capacidad está integrada por subcomponentes que representan funciones psíquicas superiores de origen social, en cuyo proceso de formación el papel principal es ocupado por las influencias educativas y, sobre todo, por las características de la mediación de la actividad cognitiva del niño que llevan a cabo las otras personas (sean docentes o padres de familia), es de gran importancia acercarse a la comprensión de los componentes constitutivos de esta capacidad. En este sentido, los estudios basados en neuroimagen permiten profundizar en la comprensión de funciones cognitivas implicadas en el proceso creativo, lo cual, a su vez, abre el camino para su respectivo fomento desde los ambientes educativos.

El presente escrito expone una revisión de diferentes tipos de estudios, basados en neuroimagen cerebral, que permiten identificar diferentes zonas corticales relacionadas con el pensamiento y actuación creativa. Se analizan tendencias contemporáneas en el estudio de la creatividad en cuanto a su relación con zonas corticales implicadas, relación de la creatividad con el funcionamiento ejecutivo, y, por último, se considera un acercamiento a la creatividad basado en neuroanatomía funcional.

Creatividad y función cerebral

En primer lugar, es necesario indicar que existen estudios que apuntan a una relación entre la madurez neuropsicológica y la creatividad, indicando que el adecuado desarrollo de las funciones cognitivas está relacionado con la creatividad (Ramírez, Llamas-Salguero y López-Fernández, 2017).

En cuanto a los estudios que indagan por los correlatos neurológicos de la creatividad, algunos autores plantean que los lóbulos frontales ocupan un lugar importante en la creatividad (Heilman, Nadeau y Beversdorf, 2003; Gibson, Folley y Park, 2009; De Souza *et al.*, 2014; Pidgeon *et al.*, 2016). Bechtereva, Danko, Starchenko, Pakhomov y Medvedev (2001) confirman la participación de lóbulos frontales (áreas de Brodmann (BA) 8-11 y 44-479) en la actividad creativa, implicando, igualmente, la relación interhemisférica. Según Wenfu, Junyi, Qinglin, Gongying y Jiang (2016), la corteza prefrontal medial y las cortezas prefrontales dorsolaterales bilaterales se asocian con el desempeño visual creativo.

Carlsson, Wendt y Risberg (2000) investigaron la relación entre la creatividad y la asimetría hemisférica medida por la sangre cerebral regional. El grupo altamente creativo utilizó las regiones prefrontales (anterior, fron-

totemporal y superior) bilaterales, mientras que el grupo creativo bajo usó funciones predominantemente en el lado izquierdo.

Christoff *et al.* (2001) indican que la integración relacional durante el razonamiento está asociada con la corteza prefrontal, específicamente con el área rostralateral bilateral y dorsolateral derecha. Según estos autores, el vínculo entre corteza prefrontal rostralateral y el proceso de integración relacional puede deberse al proceso asociado a la manipulación de la información autogenerada, un proceso que puede caracterizar la función de esta área.

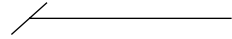
Rutter *et al.* (2012) estudiaron el aspecto de expansión conceptual que está relacionado con el proceso de razonamiento y pensamiento creativo, indicando que la corteza frontopolar y el polo temporal del cerebro están implicados en este proceso, y que no solo están relacionadas con la cognición semántica sino, también, permiten pensar más allá, alcanzando la novedad en la expansión conceptual.

Chen *et al.* (2014) estudiaron la relación entre los logros creativos y la flexibilidad cognitiva, encontrando que las porciones del lóbulo frontal dorsolateral y la corteza prefrontal media ventral eran más grandes en aquellos con mayor logro creativo. Zhu, Zhang y Qiu (2013) encontraron que las porciones del lóbulo frontal inferior izquierdo eran más grandes en personas más creativas verbalmente. Takeuchi *et al.* (2010A) también encontraron que el lóbulo frontal dorsolateral (principalmente en el lado derecho) se relaciona con la cognición creativa divergente. Al parecer, los lóbulos frontales laterales ocupan un lugar importante para el soporte de creatividad.

Igualmente, estudios indican que existen otras áreas cerebrales que se relacionan con la creatividad. Fink *et al.* (2014) informaron que las personas creativas han aumentado la materia gris en el cuneus izquierdo y precuneus;² sin embargo, Chamberlain *et al.* (2014) indican que en los artistas visuales se observa un aumento de la materia gris en la misma área del cerebro, pero en el lado derecho. Jung *et al.* (2010) sugieren que el volumen cortical en el córtex cingulado posterior³ correlaciona positivamente con las puntuaciones en el índice de creatividad compuesto. A su vez, Raichle y Snyder (2007) indican que el cuneus, precuneus y el cíngulate posterior hacen parte importante de la red por defecto que se activa cuando las personas cierran

2 La porción del lóbulo occipital en su cara interna que recibe información visual y es conocida por su implicación en el procesamiento visual básico. El volumen de materia gris en esta zona se asocia con un mejor control inhibitorio (Haldane, Cunningham, Androutsos, Frangou, 2008).

3 Una circunvolución en el área medial del cerebro. Se considera que cumple un papel en la formación y regulación de emociones, y el procesamiento de datos básicos relacionados con la conducta, el aprendizaje y la memoria.



los ojos y generan pensamientos e imágenes internas. Esta red, al parecer, tiene incidencia en la generación de pensamientos e imágenes internas, que son elementos críticos en la innovación creativa.

Takeuchi *et al.* (2010B) muestran que hay una relación entre la creatividad y volumen de sustancia blanca adentro o adyacente a la corpus prefrontales bilaterales, el cuerpo del cuerpo calloso, los ganglios basales bilaterales, la unión bilateral temporo-parietal y el lóbulo parietal inferior derecho. En conjunto, estos hallazgos indican que los tractos integrados de materia blanca subyacen a la creatividad. Estas vías implican los cortices de la asociación y el cuerpo calloso, que conectan la información en regiones distantes del cerebro y subyacen a las diversas funciones cognoscitivas que apoyan la creatividad. Estos resultados apuntan a la idea de que la creatividad está asociada con la integración de ideas conceptualmente distantes, mantenidas en diferentes dominios y arquitecturas cerebrales y que la creatividad está apoyada por diversas funciones cognitivas de alto nivel, en particular las del lóbulo frontal.

Flaherty (2005) propone que el proceso creativo está soportado por las conexiones entre los lóbulos frontales y los temporales. Jung *et al.* (2010) muestran en sus estudios las diferencias en el grosor cortical en sujetos con diferentes habilidades creativas, y que, además de regiones de corteza prefrontal (orbitofrontal lateral inferior izquierdo), se identifican otras regiones involucradas, al parecer, en el funcionamiento creativo (giro angular derecho). Razumnikova (2004) afirma que existe una organización hemisférica diferente en hombres y mujeres durante el pensamiento creativo. Li *et al.* (2015) encontraron que los sujetos con el mayor desempeño en creatividad tenían mayor volumen de materia gris en el giro medio posterior temporal derecho, que podría estar relacionado con el procesamiento semántico durante la búsqueda de novedad.

Bechtereva *et al.* (2004) indican que la creatividad verbal se relaciona con las regiones parieto-temporales izquierdas (áreas de Brodmann 39 y 40), y que la participación de áreas dentro de la corteza parietal y temporo-parietal asociativa podría estar relacionada con diferentes estrategias cognitivas usadas en los procesos creativos de solución de problemas. Igualmente, se presenta la actividad aumentada de la corteza prefrontal dorsolateral (BA 8), lo cual indica la participación de la memoria necesaria para realizar tareas creativas.

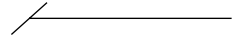
Gansler *et al.* (2011) también muestran que el desempeño visoespacial creativo en el Test de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT) se relaciona con un mayor volumen de la materia gris del lóbulo parietal derecho, ya que esta área puede estar relacionada con los aspectos globales de atención

y procesamiento visoespacial, incluyendo la capacidad de manipulación de representaciones espaciales.

Igualmente, otros autores indican que los datos obtenidos hasta el momento en cuanto a los intentos de identificar regiones cerebrales concretas que se asocian con la creatividad son muy contradictorios, ya que el pensamiento creativo no parece depender críticamente de ningún proceso mental o región cerebral, y no está especialmente asociado con el cerebro derecho, la atención desenfocada, la excitación baja o la sincronización alfa, como a veces se plantean las hipótesis (Dietrich y Kanso, 2010). Los autores proponen que, para hacer la creatividad manejable en el cerebro, debe subdividirse en diferentes tipos que pueden asociarse significativamente con procesos neurocognitivos específicos. Por ejemplo, Chávez-Eakle, Graff-Guerrero, García-Reyna, Vaugier y Cruz-Fuentes (2004, 2007) encontraron una “correlación positiva entre el índice de creatividad y el flujo sanguíneo cerebral en las siguientes áreas: giro precentral derecho, cerebelo anterior derecho, giro frontal medio izquierdo, giro recto derecho, lóbulo parietal inferior derecho y giro parahipocámpico derecho” (p. 39), lo cual plantea que la creatividad se relaciona con el flujo en el cerebro en múltiples áreas de ambos hemisferios, indicando un procesamiento multimodal que involucra funciones cognitivas complejas y procesamiento de emociones, además ocupando un sistema muy distribuido en el cerebro.

Goel y Vartanian (2005) indican que, aunque tradicionalmente se ha implicado a la corteza prefrontal izquierda en la generación de hipótesis en la solución de problemas, la corteza prefrontal lateral dorsal derecha muestra relación con la función del número de soluciones generadas en solución de problemas, posiblemente debido al aumento de las demandas de memoria de trabajo para mantener múltiples soluciones *online*, resolución de conflictos o monitoreo de progreso.

Escobar y Gómez-González (2006), haciendo una revisión de publicaciones que refieren la localización cerebral relacionada con la creatividad, resaltan algunos aspectos relevantes como: una activación de áreas del hemisferio derecho en sujetos con alta creatividad, al parecer, en ellos se activan regiones de ambos hemisferios, a diferencia de sujetos con baja creatividad, en quienes se activan con mayor predominancia las áreas del hemisferios izquierdo; otro asunto relevante es la participación de áreas prefrontales y las áreas temporo-parietales; igualmente, se indica una relación estrecha con el sistema límbico, lo cual muestra una gran importancia de los aspectos afectivos. Los autores concluyen que la creatividad implica la participación de prácticamente todo el encéfalo y, sobre todo, del hemisferio derecho.



Sin embargo, otros estudios indican una participación prevalente del hemisferio izquierdo en la realización de tareas de creatividad visual, con la activación de la corteza parietal posterior, corteza premotor y prefrontal dorsolateral (DLPFC) y PFC medial, mostrando que el hemisferio izquierdo apoya el proceso creativo. Además, los autores apoyan la noción de que la planificación motora puede ser un componente general de la improvisación creativa y que tal planificación, dirigida a objetivos de soluciones novedosas, puede ser organizada de arriba abajo por el DLPFC izquierdo y por procesamiento de memoria de trabajo en la corteza prefrontal medial (Aziz-Zadeh, Liew y Dandekar, 2013).

En relación con otras áreas cerebrales participantes en el proceso creativo, algunos autores nombran el cuerpo calloso como una estructura importante que permite realizar procesos creativos, debido a que permite conexión e interrelación entre los hemisferios cerebrales. Por ejemplo, Lewis (1979) reporta disminución de creatividad en pacientes después de comisurotomía.⁴ El cuerpo calloso permite el proceso de interacción general entre diferentes partes de ambos hemisferios, lo cual, según varios autores, representa una característica específica del funcionamiento cerebral durante el proceso creativo. Por ejemplo, Mednick (1962) señala que, cuando se generan respuestas asociativas a un estímulo, los individuos creativos se caracterizan por la capacidad de activar redes semántico-conceptuales altamente distribuidas. Jaušovec y Jaušovec (2000) y Petsche (1996) demostraron que durante el pensamiento creativo se observa un aumento de la coherencia anatómicamente distribuida de las oscilaciones de EEG, lo cual parece mostrar una evidencia fisiológica de que el cerebro está encontrando el hilo que une el proceso de pensamiento activando redes cognitivas específicas.

Gonen-Yaacovi *et al.* (2013) indican la importancia de analizar la creatividad no como un constructo unitario, sino como un sistema complejo compuesto por diferentes funciones, lo cual permite identificar con mayor precisión diferentes áreas cerebrales implicadas en su realización. Aunque en general las regiones frontales y parieto-temporales pueden apoyar procesos cognitivos compartidos por diversas tareas de creatividad, algunas regiones se especializan en distintos tipos de procesos, tales como una combinación creativa de ideas o la generación de ideas novedosas.

Abraham (2014) igualmente indica que la creatividad no es un constructo unitario, sino un complejo proceso donde participan varias funciones, que, a su vez, cuentan con el involucramiento de muchas localizaciones neurológicas diferentes. La autora se centra en dos aspectos de la cognición creativa que son centrales para generar ideas originales: “expansión conceptual”, que

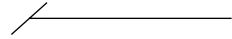
⁴ Operación quirúrgica consistente en el corte de la sección del cuerpo calloso.

se refiere a la capacidad de ampliar las estructuras conceptuales para incluir asociaciones inusuales o novedosas, y la “superación de limitaciones del conocimiento”, que se refiere a la capacidad de anular la influencia restrictiva impuesta por el conocimiento previo relevante cuando se trata de ser creativo, indicando que los estudios de neuroimagen sobre la expansión conceptual han revelado que las estructuras cerebrales (frontal inferior, temporopolar y frontopolar) asociadas colectivamente a la selección, la recuperación controlada, la combinación y la integración del conocimiento semántico están más fuertemente comprometidas durante la expansión conceptual creativa, y las regiones temporales medias posteriores se reclutan más activamente al superar las limitaciones de conocimiento.

En la misma línea se encuentra el estudio de Abraham, Beudt, Ott, Von Cramon (2012), quienes analizaron el desempeño en tareas creativas de los grupos clínicos de pacientes con lesiones de lóbulo frontal, ganglios basales o lesiones parietales-temporales en relación con participantes controlados sanos. En relación con el grupo con lesiones del lóbulo frontal, se encontró déficit de rendimiento en diferentes facetas del pensamiento creativo en el grupo frontolateral, lo que contrastaba con el desempeño del grupo frontopolar, el cual mostró un rendimiento superior en una medida de cognición creativa. El desempeño del grupo frontal-extenso fue en promedio mejor que el del grupo frontolateral, pero peor que el del grupo frontopolar. Estos resultados indican que diferentes localizaciones de las lesiones en el lóbulo frontal pueden tener un impacto diferente en el desempeño creativo.

El grupo parietal-temporal mostró un desempeño más pobre en las medidas relacionadas con la fluidez y el frontolateral mostró un desempeño más pobre en la producción de respuestas originales. Por el contrario, los ganglios basales y los grupos frontopolares demostraron un rendimiento superior en la capacidad de superar las limitaciones impuestas por los distractores semánticos más destacados al generar respuestas creativas. Los autores afirman que es necesario considerar el pensamiento creativo como un constructo multi-componencial, en oposición a un constructo unitario con referencia a la función cerebral.

Estudios igualmente apuntan a una importante relación entre mecanismos cognitivos y emocionales en los procesos creativos. Por ejemplo, Asari *et al.* (2008), respecto al estudio de la percepción única y/o original en personas, relacionan esta habilidad con la mayor activación del polo temporal derecho, indicando que, según las investigaciones de neuroimagen y neuropsicológicas previas, se ha establecido la participación del polo temporal en la vinculación percepción-emoción; por lo tanto, los autores sugieren que la percepción única es producida por la integración de procesos perceptivos



y emocionales, y esta integración puede subyacer en partes esenciales de las actividades creativas.

Según Heilman (2016), la creatividad como proceso implica varias etapas que, a su vez, se soportan en diferentes sustratos neuronales, entre los cuales están: preparación, consistente en el desarrollo de conocimientos y habilidades críticas; innovación, es decir, el desarrollo de soluciones creativas, y producción creativa.

Desde esta postura, el desempeño creativo depende de muchos factores e involucra no solo regiones específicas cerebrales, sino todo el cerebro en general. Uno de los factores importantes es el desarrollo temprano que crea condiciones neurológicas para el futuro desempeño: se ha identificado la relación del grosor de la corteza en general y la cantidad de espinas dendríticas con el ambiente temprano estimulante (Rosenzweig y Bennet, 1996; Schneider *et al.*, 2002; Kaler y Freeman, 1994). Igualmente, el adecuado desarrollo de las habilidades cognitivas de orden superior, entre las cuales están también las funciones ejecutivas, al igual que un largo proceso de aprendizaje que permite construir una sólida red semántica de conocimientos que soportan el proceso creativo.

Entre las funciones cognitivas, los autores hacen referencia a varias que están estrechamente relacionadas con el desempeño creativo, tales como razonamiento espacial y la imaginación espacial (Metcalfe y Wiebe, 1987), flexibilidad cognitiva (Chen *et al.*, 2014), inhibición (Benedek, Franz, Heene y Neubauer, 2012), fluidez verbal (Bustos, Arán y Krumm, 2013), entre otras. Todas estas funciones se relacionan con el funcionamiento de los lóbulos frontales del cerebro; sin embargo, los estudios muestran que uno de los aspectos importantes no es el papel de los lóbulos frontales como tal, sino su conexión con otras regiones del cerebro que, al parecer, permiten el surgimiento del proceso creativo.

Por ejemplo, para la generación de ideas novedosas, como primer paso, es necesaria la separación o inhibición de las respuestas acostumbradas, donde los lóbulos frontales encargados de la función de inhibición juegan un papel importante en el pensamiento divergente (Lhermitte, 1983; Luria, 1969; Weinberger, Bergman y Zec, 1986). Sin embargo, aunque la desconexión es un elemento crítico de la creatividad, la separación por sí sola no conduce a la innovación, ya que uno de los elementos de la creatividad, después de desentenderse de las formas preconcebidas previas, es el desarrollo de ideas que son diferentes de los modos prevalentes de pensamiento y expresión, la cual es nombrada por algunos investigadores como una forma de razonamiento “fuera de la caja” (Heilman, 2016).

Por ejemplo, en las pruebas donde es necesario encontrar los usos inusuales de algún objeto no solo es necesario inhibir las representaciones de usos acostumbrados, sino buscar relaciones remotas entre conceptos para poder generar nuevas ideas. Las redes semánticas que almacenan los usos más comunes de los objetos son más fuertes y más fáciles de activar, y cuando se realiza un pensamiento divergente la persona tiene que desentenderse de estas redes fuertes y activar redes más remotas.

En este orden de ideas, los lóbulos frontales tienen fuertes conexiones con las partes del lóbulo temporal y parietal, los que almacenan información semántica adquirida (Escobar y Gómez-González, 2006; Arietti, 1976⁵) y pueden activar estas redes remotas. Aunque no se conoce completamente cómo los lóbulos frontales facilitan la activación de estas redes más remotas, los lóbulos frontales son una de las pocas áreas de la corteza cerebral que parecen controlar la actividad del locus coeruleus⁶ (Arnsten y Goldman-Rakic, 1984), que produce norepinefrina para el cerebro, y, al parecer, según los estudios que se presentan a continuación, el nivel de la norepinefrina en el cerebro puede influir en la activación de redes remotas.

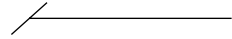
Creatividad y neurotransmisores del sistema nervioso

Estudios sobre el proceso de surgimiento de ideas o soluciones creativas (*insight*) revelan que hay ciertas condiciones comunes que han experimentado personas en el momento de su surgimiento, entre las cuales se resaltan reposo/descanso y sueño/soñar. Por otro lado, algunos autores reportan la relación entre la depresión y creatividad (Post, 1994; Slaby, 1992; Richards, Kinney, Lunde, Benet y Merzel, 1988). Dichos estados se asocian con la norepinefrina (noradrenalina) que, a su vez, se aumenta cuando las personas están sometidas a condiciones de estrés, permitiendo que el cerebro esté activo frente a los estímulos externos, pero, al parecer, inhiben la capacidad de la persona a “mirar adentro”, lo cual es necesario durante el proceso creativo (Hasselmo, Linster, Patil y Cekic, 1997). Por ejemplo, Martindale y Greenough (1973) mostraron que la habilidad para acceder a redes léxico-semánticas conectadas remotamente disminuye bajo condiciones de estrés (ansiedad).

Heilman (2016) habla de los resultados de un estudio orientado a probar la hipótesis de que el propranolol, que bloquea la influencia de la norepinefrina, mejoraría la flexibilidad cognitiva y, por lo tanto, permitiría a una

5 Este autor fue uno de los primeros quién indico que conexiones de la neocorteza prefrontal agranular con la neocorteza asociativa témporo-parieto-occipital participa en la generación de la creatividad.

6 Una región anatomía en el tallo cerebral



persona que tomara este medicamento “encontrar el hilo que une”. Se comparó la capacidad de los participantes normales para resolver anagramas cuando se trató con efedrina o propranolol. Los resultados revelaron que los participantes sanos obtuvieron mejores resultados cuando tomaron propranolol antes de realizar la tarea. En otro estudio (Heilman, 2016) se indica que, después de la estimulación del nervio vago que aumenta la función de producción de norepinefrina por el locus coeruleus, se observó como efecto la disminución de flexibilidad cognitiva y de la creatividad en los sujetos participantes. Lo anterior muestra la importancia de la actividad de reflexión interna del cerebro para los procesos de búsqueda de redes semánticas novedosas y la participación de norepinefrina.

En este aspecto, es interesante hacer relación de estos estudios con los que se resalta el papel de lesiones en los ganglios basales que se asocian con un mejor rendimiento al generar respuestas creativas (Abraham *et al.*, 2012), considerando que, anatómicamente, locus coeruleus envía proyecciones a los ganglios basales. Varios investigadores en comportamiento y neuroimagen de las diferencias individuales en la creatividad han puesto de relieve el vínculo indirecto entre el pensamiento creativo y las funciones cognitivas, que son centrales para los ganglios basales en el sistema frontostriatal, como la inhibición cognitiva (Carson, Peterson, Higgins, 2003; Storm y Angello, 2010).

La incidencia de estados mentales tranquilos debido a la inhibición de norepinefrina en los procesos creativos también va acorde con los estudios de las ondas cerebrales que se observan durante los procesos creativos: al parecer, la presencia de ondas alfa características en los estados de relajación y/o meditación favorece la actividad creativa (Martindale y Hasenpus, 1978; Haarmann, George, Smaliy y Dien, 2012). En esta línea también se encuentra el estudio de Hao *et al.* (2016), quienes indican que el proceso de generación de ideas originales se relaciona con una sincronización alfa superior (10-13 Hz), sobre todo la más prominente, en los sitios corticales frontales. Estos hallazgos indican que la generación de ideas puede estar relacionada con un estado de atención interna intensificada o una actividad descendente, que facilita la recuperación e integración eficaces de las representaciones de la memoria interna.

Igualmente, hay estudios que apuntan a considerar el papel de la dopamina en el comportamiento creativo. Lhommée *et al.* (2014) y Faust-Socher, Kenett, Cohen, Hassin-Baer e Inzelberg (2014) informaron que los pacientes con enfermedad de Parkinson que fueron tratados con medicamentos llamados agonistas de la dopamina, que aumentan la sensibilidad del cerebro a la

dopamina, mostraron aumento de comportamientos de alto riesgo, al igual que el pensamiento creativo.

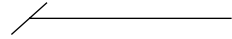
Creatividad y funcionamiento ejecutivo

Como se puede observar a partir de lo expuesto anteriormente, los lóbulos frontales aparecen con mayor frecuencia en los estudios como una zona cortical que muestra una importante participación en los procesos de pensamiento creativo. Los lóbulos frontales, a su vez, fueron señalados ya por Luria como responsables del funcionamiento ejecutivo en el ser humano. En los últimos años, emergió una línea de investigación muy interesante, orientada a indagar por la relación entre la creatividad y funcionamiento ejecutivo.

Según Verdejo-García y Bechara (2010), “las funciones ejecutivas constituyen mecanismos de integración intermodal e intertemporal, que permiten proyectar cogniciones y emociones desde el pasado hacia el futuro con objeto de encontrar la mejor solución a situaciones novedosas y complejas” (p. 228). Los autores afirman que las funciones ejecutivas “promueven gran parte de nuestra actividad intencional y creativa” (Verdejo-García y Bechara, 2010, p. 234). Según Lopera (2008), el funcionamiento ejecutivo del cerebro incluye en sí mismo aspectos como volición, iniciativa y creatividad, exactamente “se refiere a la capacidad de ser creativo para inventar opciones y alternativas ante situaciones nuevas y necesidades adaptativas y a la capacidad de activar el deseo y la voluntad para la acción” (p. 61), a la par con otras funciones como la capacidad de organización y planificación, fluidez y flexibilidad en la ejecución de planes de acción, procesos de atención selectiva, concentración y memoria operativa, monitoreo y control inhibitorio.

En este aspecto, es evidente la conexión del funcionamiento ejecutivo (FE) con la creatividad, siendo esta una actividad psíquica igualmente compleja que permite encontrar las soluciones novedosas en situaciones insertas. Aunque los autores han conceptualizado la creatividad como un constructo diferente, es importante tratar de entender si es realmente independiente del funcionamiento ejecutivo o es una expresión máxima del perfeccionamiento en el manejo del FE, si existen elementos o subcomponentes compartidos y cómo interactúan ambos constructos.

Esta comprensión puede permitir apuntar a la elaboración de estrategias pedagógicas concretas, y sobre todo a estrategias de mediación cognitiva y afectiva de la actividad de aprendizaje de estudiantes. Si existe una determinada relación entre el funcionamiento ejecutivo y la creatividad mediante



elementos comunes que aportan al fomento de ambos constructos, la comprensión de esta relación permite identificar estrategias metodológicas concretas comunes a ambos; en cambio, si su funcionamiento es independiente será necesario la elaboración de estrategias específicas en cada caso.

Esta comprensión es supremamente importante, ya que acarrea consecuencias de orden práctico para los procesos educativos y, por ende, determina el efecto formativo y desarrollante que produce la enseñanza en los estudiantes a partir de su respectiva organización.

Por ejemplo, en la literatura relacionada con el tema se encuentran estudios que afirman que el fomento de funciones ejecutivas incide en el fomento de la creatividad, y viceversa, que el fomento de creatividad permite mejorar ciertos aspectos de las funciones ejecutivas. El estudio realizado por Reyes-Meza, Flores-Sosa, Nava-Reyes, Pelayo-González y Morales-Ballinas (2015) en la población universitaria, señala que la participación de los estudiantes de la muestra en un curso de creatividad aplicada, donde se promovió el pensamiento divergente, tuvo como resultado un aumento significativo en las funciones de metamemoria, pensamiento abstracto y comprensión del sentido figurado.

Por otro lado, se encuentran propuestas formativas respecto a la creatividad, que parten de una afirmación de que existe una relación muy alta y estadísticamente significativa entre ambas variables, que sustenta el uso de un programa de intervención neuropsicológica que estimula el funcionamiento ejecutivo para el fomento de la creatividad en niños de 3 a 6 años (Díaz-Rojas, 2014; Díaz y López, 2016). Ramírez, Llamas-Salguero y López-Fernández (2017) afirman que existe una correlación positiva directa entre la creatividad y la madurez neuropsicológica en niños entre los 7 y 11 años, proponiendo, a partir de sus hallazgos, fomentar la creatividad mediante las actividades que apuntan al desarrollo de los factores que intervienen en el desarrollo neuropsicológico. La revisión de investigaciones en este aspecto muestra un panorama contradictorio en cuanto a la relación existente entre estas dos variables.

Sastre-Riba y Viana-Sáenz (2016) consideran que las diferencias individuales en el alto rendimiento intelectual pueden deberse a las diferencias en las habilidades ejecutivas como “procesos implicados en el control del pensamiento y la acción, el funcionamiento intelectual de alto nivel y la creatividad” (p. 2). Los resultados de su estudio con 78 niños, de 8 a 15 años, con alta capacidad intelectual, indicaron que la inhibición, memoria de trabajo y flexibilidad juegan un papel importante en el funcionamiento creativo. Los niños con talento divergente mostraron una buena memoria de trabajo, con inhibición y flexibilidad más eficientes.

Benedek, Franz, Heene y Neubauer (2012) encontraron una correlación positiva entre medidas de inhibición y creatividad; al mismo tiempo, los análisis de variables latentes indicaron que la inhibición puede promover principalmente la fluidez de las ideas, mientras que la inteligencia específicamente promueve la originalidad de las ideas.

Otros estudios muestran que no existe una relación entre los dos constructos o esta relación se identifica a nivel solo de algunos subcomponentes. El estudio de Bustos *et al.* (2013), realizado en la población de adolescentes entre 12 y 18 años, sugiere que la creatividad y las funciones ejecutivas son constructos separados y que, de las funciones ejecutivas, solo la fluidez verbal predice la creatividad verbal.

Según Castillo-Delgado, Ezquerro-Cordón, Llamas-Salguero y López-Fernández (2016), en un estudio realizado con niños en edades entre los 8 y 10 años, no se encontraron valores significativos de correlación entre las variables de creatividad y función ejecutiva.

Otro estudio orientado a comprender la experiencia de flujo en creatividad (*flow*), propone una hipótesis muy interesante, indicando que este tipo de experiencia está relacionada con un equilibrio entre las funciones de flexibilidad/eficiencia, representado por la relación entre el sistema explícito que está asociado con las funciones cognitivas superiores de las estructuras del lóbulo frontal y del lóbulo temporal medial, y ha evolucionado para aumentar la flexibilidad cognitiva y el sistema implícito que se asocia con el conocimiento basado en habilidades, apoyado principalmente por los ganglios basales y tiene la ventaja de ser más eficiente. La hipótesis identifica el estado de flujo como un período durante el cual una habilidad altamente practicada que se representa en la base del sistema implícito del conocimiento se implementa sin interferencia del sistema explícito. Se propone que un requisito previo necesario para la experiencia del flujo es un estado de hipofrontalidad transitoria que permite la supresión temporal de las capacidades analíticas y meta-conscientes del sistema explícito (relacionadas con el funcionamiento ejecutivo) (Dietrich, 2004).

Un campo de estudio muy interesante que aporta a la indagación en cuanto a la relación entre la creatividad y las funciones ejecutivas, y que también muestra la controversia en cuanto a los resultados, son los estudios con los niños que presentan el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH).

Los niños con TDAH cuentan con dificultades en las funciones ejecutivas, lo cual precisamente produce los principales síntomas del trastorno. Hay autores que afirman que precisamente estas características del funcionamiento cognitivo de los niños con TDAH como, por ejemplo, dificultades para inhibir la entrada de los estímulos innecesarios, les permite contar con una mayor amplitud atencional, considerando mayor número de eventos disponibles para su utilización en el proceso creativo, lo cual es más consistente con el pensamiento divergente y permite a los niños con TDAH ser más creativos (Barkley, 1997; El-Sayed, Larsson, Persson, Santosh y Rydelius, 2003; Shaw *et al.*, 2007).

Esta afirmación se relaciona con un interesante estudio basado en la técnica de neuroimagen, que se orientó a indagar por la relación entre la memoria de trabajo como una de las funciones ejecutivas importantes y la creatividad. Entre los hallazgos se indica que la creatividad individual, medida por la prueba de pensamiento divergente, está relacionada con la reasignación ineficiente de la atención, lo cual es congruente con la idea de que la atención difusa está asociada con la creatividad individual (Takeuchi *et al.*, 2011).

Algunos autores afirman que los niños que presentan el TDAH tienden a ser más creativos que los que no lo presentan, indicando la presencia de correlación entre niveles clínicamente elevados de sintomatología TDAH y la creatividad (Cramond, 1994; Healey y Rucklidge, 2006). Fugate, Zentall y Gentry (2013) afirman también que los estudiantes con TDAH y alta inteligencia muestran mayor creatividad que los niños sin sintomatología de TDAH. González-Carpio, Serrano y Nieto (2017) realizaron un estudio donde participaron 68 niños de 8 a 13 años, distribuidos en dos grupos iguales, con y sin el diagnóstico de TDAH, a quienes se les evaluó la creatividad mediante el Test de Torrance. Los niños con TDAH presentaron mejores rendimientos en fluidez, con un mayor número de respuestas; en originalidad, con un mayor número de respuestas inusuales o no convencionales, junto con puntuaciones más altas en fuerzas creativas, que incluyen medidas para el movimiento o la acción, expresividad emocional, articulación de historias, visualización inusual, humor o fantasía.

Igualmente, González-Carpio y Serrano (2016), en un estudio llevado a cabo con niños con TDAH medicados y no medicados, muestran que los niños medicados obtuvieron un índice global creativo inferior y puntuaciones más bajas en fluidez, originalidad y fuerzas creativas, comparados con los que no estaban bajo tratamiento.

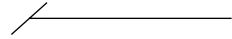
Por otro lado, existen otros estudios que no confirman esta relación entre la sintomatología del TDAH, reflejada en la asociación entre las dificultades

en las funciones ejecutivas y la alta creatividad (Sang, Yu, Zhang y Yu, 2002; Healey y Rucklidge, 2005).

Otra de las orientaciones interesantes en los estudios que permiten relacionar el FE y la creatividad está relacionada con estudios de actividad artística, tanto en personas normales como en otras que presentan deterioro significativo, tanto congénito como adquirido en sus funciones ejecutivas. Por ejemplo, el estudio de caso expuesto por Matallana, Reyes, Palacio, Moreno, Montañés y Cano (2011), donde se explora la relación entre demencia y creatividad, muestra una aproximación a la exploración de las bases biológicas de la creatividad, describiendo el surgimiento de un proceso cognoscitivo asociado a la creatividad a partir de la afasia primaria progresiva (una variante de una demencia frontotemporal), llamado “facilitación funcional paradójica”, que está posiblemente relacionado con la patología del lóbulo dominante anterior temporal.

Hay análisis interesantes en este campo de estudios de artistas que presentan diferentes afectaciones a nivel de funcionamiento cognitivo. Por ejemplo, se observa interesante actividad artística –como pintura– en personas que presentan problemas a nivel de lenguaje, memoria, cognición social y funciones ejecutivas –como autistas–, pacientes con afasia primaria progresiva, demencia y traumatismos del lóbulo frontal (Matallana *et al.*, 2011). Algunos estudios hablan sobre el rol que posiblemente cumple el lóbulo frontal en la habilidad artística, como el caso descrito por Seeley *et al.* (2008), de una artista cuyo progresivo deterioro en la corteza frontal inferior permitió producir “arte trasmodal expresivo”, consistente en obras que hacen una traslación entre contenidos de diferentes registros sensoriales, de lo musical a lo visual. Los hallazgos de este estudio mostraron un aumento del volumen de la materia gris e hiperperfusión en áreas neocorticales posteriores derechas implicadas en la integración heteromodal y polisensorial, lo cual sugiere que las mejoras estructurales y funcionales en el neocórtex posterior no dominante pueden dar lugar a formas específicas de creatividad visual, que pueden ser liberadas por lesiones de la corteza frontal inferior.

Algunos autores (Heilman, Nadeau y Beversdorf, 2003) proponen en este aspecto que la actividad del lóbulo frontal (correspondiente a las funciones ejecutivas) es esencial en la producción artística. Por ejemplo, el análisis de obras artísticas de un artista realizadas antes y después del desarrollo de demencia relacionada con la atrofia focal de lóbulos frontal y temporal izquierdo mostraron un aumento de habilidades artísticas con el tiempo, que podría estar relacionado con una pérdida de actividad inhibitoria sobre las regiones temporales y parietales posteriores implicadas en procesos visoespaciales y viso-constructivos (Drago *et al.*, 2006).



Sin embargo, el análisis de las producciones artísticas, en estos casos, muestra que tienen un estilo realista directo, la abstracción resulta difícil o prácticamente imposible para las personas con estas afectaciones. Según Mendez (2004), en los pacientes con demencia frontotemporal las producciones creativas no incluyen actividades verbales tales como la escritura o la poesía, debido a que implican un grado alto de abstracción. Al parecer, el deterioro de las funciones ejecutivas y lenguaje, que corresponden a los procesos cognitivos secundarios, hace que estas personas “regresan a esa interacción con lo de afuera sólo a través de procesos primarios” (Mendez, 2004, p. 221), como percepción visual e imágenes visuales directas (Matallana *et al.*, 2011). Un análisis de un caso de un paciente con un daño cerebral en el lóbulo prefrontal izquierdo mostró una mejora en las habilidades artísticas relacionadas con la pintura después de daño cerebral, consistente en un progreso de la representación artística relacionada con el realismo (Takahata *et al.*, 2014).

Los ejemplos de estudios anteriores, aunque proporcionan datos muy interesantes, no son todavía concluyentes, ya que se refieren solo a casos aislados de excepcionalidad artística o a un surgimiento de interés por la pintura a partir del deterioro cognitivo, lo cual no pasa en todas las personas con el mismo problema o afectación.

Igualmente, hay estudios que contradicen estos resultados, como por ejemplo el estudio de Souza *et al.* (2010), quienes indican que los pacientes con afectación de lóbulos frontales en demencia frontotemporal muestran también una significativa afectación de su creatividad, observándose respuestas desinhibidas y perseverantes, lo que condujo a respuestas “pseudo-creativas”. La mala creatividad en estos pacientes se correlacionó positivamente con varias pruebas de funciones ejecutivas. Los autores afirman que la integridad de la corteza prefrontal (en particular frontopolar) está fuertemente asociada con el pensamiento creativo y la aparición del talento artístico en pacientes con esta demencia se explica por la liberación de comportamientos involuntarios, más que por el desarrollo del pensamiento creativo.

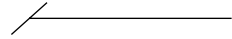
Los estudios anteriores, a pesar de sus resultados contradictorios, dirigen la atención a algunas cuestiones importantes para la investigación sobre la relación entre la creatividad y las funciones ejecutivas. En primer lugar, es evidente que la creatividad es un proceso cognitivo altamente complejo, que involucra diferentes regiones del cerebro y se relaciona de forma compleja con otras funciones cognitivas. Igualmente, apunta a pensar la creatividad desde diferentes niveles o ámbitos, como por ejemplo expresión artística (distinguiendo entre arte visual, literario, etc.), producción científica, reso-

lución de problemas con propuestas de solución innovadoras y originales, entre otras, donde la participación de las funciones ejecutivas puede ser diferente.

Otra de las líneas de estudios importantes en la relación entre la creatividad y las funciones ejecutivas son los recientes estudios basados en la resonancia magnética funcional (fMRI), que permiten ver el cerebro en acción. En un estudio realizado por Liu *et al.* (2012) se analizó el funcionamiento cerebral de 12 raperos de estilo libre, en dos situaciones de producción musical: *freestyle* (improvisado) y rendimiento convencional (ensayado). Los resultados obtenidos muestran que durante la improvisación se produce un patrón de cambios anclado en el lóbulo frontal: aumentos significativos en la actividad de la corteza prefrontal mediana y disminuciones en la corteza prefrontal dorsolateral, la región que participa en las funciones ejecutivas como la planificación y la inhibición, lo cual probablemente proporciona un contexto en el cual la acción autogenerada se libera de las restricciones convencionales de atención de supervisión y control ejecutivo, facilitando la generación de ideas.

Estos resultados coinciden con los de un estudio anterior llevado a cabo por Limb y Braun (2008) en pianistas profesionales de jazz. Los autores sugieren, también, que las relaciones alteradas dentro de la corteza prefrontal parecen tener consecuencias funcionales generalizadas, que afectan a la motivación, la emoción, el lenguaje, así como al control motor, y puede generalizarse a otras formas de comportamiento creativo espontáneo, indicando, a su vez, que estas alteraciones son presentadas solo en la fase del proceso creativo relacionada con la improvisación, donde se realiza una producción del material nuevo, pero no pueden aplicarse a otras fases del proceso creativo, donde se realiza la evaluación y selección del material producido. Igualmente, Sagar *et al.* (2017) indican que la mejora de la capacidad creativa basada en la improvisación está asociada a una menor participación de las regiones de funcionamiento ejecutivo. No obstante, sus conclusiones son algo controvertidas, ya que otros estudios han señalado todo lo contrario: que diferentes partes del córtex prefrontal se activan durante el proceso creativo (Bengtsson, Csikszentmihalyi y Ullen, 2007; Berkowitz y Ansari, 2008).

De Manzano y Ullén (2012) afirman que la corteza premotora dorsal, que ha sido implicada consistentemente en los aspectos cognitivos de la planificación y la selección de secuencias motoras espaciales y el área motora pre-suplementaria, participan en el proceso de improvisación musical, aunque existen diferencias en su participación en cuanto a la improvisación melódica o rítmica, y la conectividad funcional entre las regiones premotoras y



otras regiones varía durante la generación libre, en respuesta a las demandas espaciotemporales específicas de la tarea.

Por otro lado, el estudio de Christoff, Keramatian, Gordon, Smith y Mädler (2009) muestra que la corteza prefrontal está implicada en el pensamiento abstracto (importante para la creatividad). El procesamiento de información concreto, moderadamente abstracto y sumamente abstracto, se asoció con un mayor reclutamiento relativo de regiones ventrolaterales, dorsolaterales y rostralaterales de corteza prefrontal, respectivamente, lo que sugiere una topografía funcional, en la cual las regiones anteriores están asociadas preferentemente con representaciones de abstracción creciente. El estudio realizado por Abraham *et al.* (2012), orientado a investigar una faceta crítica de la cognición creativa –la de la expansión conceptual–, encontró que las regiones cerebrales involucradas en la retención, recuperación e integración de conocimientos conceptuales, tales como el giro frontal anterior inferior, los polos temporales y la corteza frontopolar lateral se involucraron selectivamente durante la expansión conceptual. Estos resultados permiten apuntar a la conexión con funciones ejecutivas, ya que la corteza frontopolar está relacionada con procesos cognitivos complejos de la planeación, la introspección, la memoria retrospectiva y prospectiva, la disociación de la atención y la resolución de problemas que implican tareas simultáneas (Buriticá y Pimienta-Jiménez, 2007).

En esta línea se encuentra el estudio de Chen *et al.* (2016), quienes indican que el desarrollo del área de corteza prefrontal dorsolateral derecha (DLPFC) predice la creatividad en adultos jóvenes, al igual que la mayor densidad de la materia gris en la corteza frontoparietal izquierda y frontotemporal derecha, indicando que la planificación continúa orientada por objetivos (DLPEC) y el conocimiento acumulado (áreas temporales) apoya ganancias longitudinales en la capacidad cognitiva creativa. Igualmente, Zhu *et al.* (2016) indican que actividades más creativas se asociaron significativa y positivamente con un mayor volumen de materia gris en la corteza premotora regional, que es un área de planeación motora involucrada en la creación y selección de nuevas acciones e inhibición, apoyando la opinión de que la planificación motora puede desempeñar un papel crucial en el comportamiento creativo.

Shamay-Tsoory, Adler, Aharon-Peretz, Perry y Mayseless (2011), por el contrario, reportan resultados de un estudio que muestra la relación entre las lesiones en la corteza prefrontal medial izquierda con niveles más elevados de originalidad, al igual que una correlación negativa entre los puntajes de originalidad y las lesiones en la corteza prefrontal derecha, lo cual sugiere que esta forma parte de una red frontoparietal derecha que es responsable

de producir ideas originales. Es posible que el procesamiento cognitivo más lineal, como el lenguaje mediado por las estructuras del hemisferio izquierdo, interfiera con la cognición creativa. Por lo tanto, las lesiones en el hemisferio izquierdo pueden estar asociadas con elevados niveles de originalidad.

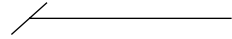
Dichos estudios muestran controversia en relación con el papel del control cognitivo-ejecutivo para el proceso creativo y abren un camino para nuevas investigaciones, relacionadas no solo con los campos de creación artística, sino también con diferentes fases del proceso creativo.

La aproximación a los correlatos neurológicos subyacentes en la actividad creativa muestra datos interesantes, indicando que algunos componentes del funcionamiento ejecutivo como la planificación motora, organizada de arriba abajo por la corteza prefrontal dorsolateral izquierda, y el procesamiento de memoria de trabajo relacionada con la corteza prefrontal medial, participan en la creatividad visual (Aziz-Zadeh *et al.*, 2013).

La creatividad como proceso cognitivo intencional vs. espontáneo

Como se puede observar, existen diferentes posturas al respecto del papel de los lóbulos frontales y de la participación de funciones ejecutivas en el proceso creativo, las cuales son, a menudo, contradictorias.

En este orden de ideas, es interesante considerar la postura de Dietrich (2004A), quien intenta conciliar las discrepancias en diferentes estudios sobre la creatividad, proponiendo cuatro tipos de actividad creativa, cada una mediada por un circuito neural distintivo y, por ende, una diferente implicación de las funciones cognitivas superiores. En primer lugar, el autor afirma que la creatividad está basada en procesos mentales ordinarios y, por lo tanto, es eminentemente comprobable con las herramientas de la neurociencia moderna y la psicología cognitiva. Los circuitos neuronales que procesan información específica para producir combinaciones no creativas de esa información son los mismos circuitos neuronales que generan combinaciones creativas o novedosas de esa información, pero la forma de procesamiento o el camino que se recorre neurológicamente es distinto en ambos casos. Sin embargo, según el autor, la activación prefrontal proporciona la base para la diferencia cualitativa entre los dos modos de procesamiento. Se propone que hay cuatro tipos básicos de ideas creativas, cada una mediada por un circuito neuronal distintivo. Las ideas creativas pueden ser el resultado de dos modos de procesamiento, deliberados y espontáneos, cada uno de los cuales puede guiar el cálculo neuronal en estructuras que aportan contenido



emocional y en estructuras que proporcionan análisis cognitivo. Cruzar los dos modos de procesamiento con el tipo de información produce los cuatro tipos básicos de creatividad: deliberado con contenido cognitivo, deliberado con contenido emocional, espontáneo con contenido cognitivo y espontáneo con contenido emocional (Dietrich, 2004A).

El autor afirma que los lóbulos frontales, y específicamente la corteza dorsolateral, juegan el papel principal en la organización del proceso creativo en el modo deliberado de procesamiento de información, permitiendo la orientación del proceso de búsqueda y combinación de elementos en las redes semánticas, lo cual emplea información disponible en las regiones de TOP (lóbulos temporales, occipitales y parietales). En cuanto al modo espontáneo, se observa, en cambio, la disminución de influencia de la corteza dorsolateral prefrontal, fenómeno que se observa, también, en los casos de surgimiento de la actividad creativa en casos de lesiones cerebrales en estas regiones. Cada uno de los tipos de creatividad se relaciona mayormente, a su vez, con distintos campos: el modo deliberado es más común en ciencias y el modo espontáneo es más característico en las artes. Igualmente, esta propuesta permite demostrar una importante relación del proceso creativo con la complejidad y riqueza de redes semánticas, o el nivel de experticia y conocimiento que maneja la persona en un campo determinado.

Dietrich (2004A) afirma que la corteza prefrontal debe ser la estructura central involucrada en el pensamiento creativo; sin embargo, su participación debe analizarse al detalle para comprender qué tipo de funciones adjudicadas a esta participan en el proceso creativo y de qué manera. Según este autor, siendo la creatividad el epítome de la flexibilidad cognitiva requiere de las habilidades cognitivas, tales como memoria de trabajo, atención sostenida, flexibilidad cognitiva y juicio de propiedad, que se atribuyen típicamente a la corteza prefrontal.

Al parecer, la memoria de trabajo es uno de los componentes funcionales cognitivos que ocupa un lugar central en los procesos creativos. La memoria de trabajo representa la infraestructura necesaria para calcular complejas funciones cognitivas, proporcionando un *buffer* para mantener la información en mente y ordenarla en el espacio-tiempo. Con su capacidad para mantener el procesamiento en línea en tiempo real, el *buffer* de memoria de trabajo parece ser un prerrequisito para la flexibilidad cognitiva, el pensamiento abstracto, la planificación estratégica, el acceso a la memoria a largo plazo y la sensibilidad (Dietrich, 2004A).

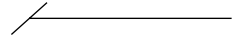
En modo deliberado de creatividad, donde el papel principal lo ocupan los lóbulos frontales, a partir de una tarea, problema a solucionar o meta a alcanzar, se realiza una búsqueda deliberada de información en la memoria

a largo plazo en las redes semánticas, trayéndola a la memoria de trabajo con el fin de trabajar con ella, buscando combinaciones necesarias (originales y funcionales en caso de búsqueda de soluciones creativas). En este proceso la memoria de trabajo orienta todo el proceso, desde el inicio de la búsqueda de información necesaria, su combinación y evaluación de pertinencia de respuestas halladas. Sin embargo, este proceso creativo del modo deliberado, aunque le permite al pensador dirigir las capacidades cerebrales a un problema particular y buscar soluciones prácticas y novedosas, tiene la desventaja de limitar el espacio de la solución, ya que los criterios de búsqueda están condicionados al conocimiento previo, la experiencia y estructura mental preconcebida. Este tipo de procesos creativos son característicos de las ciencias. La memoria de trabajo ocupa aquí un papel protagónico, ya que sus límites son una consideración crítica para la creatividad deliberada, porque limitan el número de posibles combinaciones ideacionales (Dietrich, 2004A).

Por otro lado, el proceso de creatividad espontánea implica un camino diferente, donde las ideas nuevas pueden surgir inconscientemente y luego son representadas en la memoria de trabajo en su forma terminada. En tal estado mental, el pensamiento consciente se caracteriza por una deriva no sistemática y la secuencia de pensamientos que se manifiesta en la conciencia es más caótica, permitiendo que surjan asociaciones más “vagamente conectadas”. Esto es coherente con la visión de Simonton (2003) de que la creatividad es un proceso combinacional estocástico.

Durante los tiempos inevitables en los que el sistema atencional no está regulado, los pensamientos que no están guiados por las normas sociales y no son filtrados por la racionalidad convencional se representan en la memoria de trabajo (Dietrich, 2003). Dado el punto de vista de que el búfer de memoria de trabajo de la corteza prefrontal contiene el contenido de la conciencia, un pensamiento nuevo se convierte en una percepción cuando se representa en la memoria de trabajo. La información que no está representada en la memoria de trabajo es inconsciente, en la medida en que no podemos reflejar o informar sobre ella (Race, Kuhl, Badre y Wagner, 2009). Debido a que las estructuras neuronales en todos los niveles de la jerarquía funcional pueden activar el sistema motor, tales combinaciones nuevas inconscientes pueden producir comportamientos novedosos (Dietrich, 2004A). Sin embargo, la conducta creativa sofisticada se basa en la integración prefrontal, que sigue una vez que los pensamientos nuevos inconscientes se manifiestan en la conciencia, o sea que son reflejados en la memoria de trabajo.

Estas dos rutas neurológicas representan la diferencia cualitativa entre dos formas de proceso creativo: deliberada y espontánea.



Por último, es necesario mencionar que varios autores han resaltado la relación entre la memoria de trabajo y la creatividad como, por ejemplo: la importancia de memoria de trabajo en innovación creativa en la producción técnica (Wynn y Coolidge, 2014); la relación funcional entre el cerebelo y la memoria de trabajo en la producción y el registro posterior de ideas creativas surgidas durante el *flow* (Jalil, 2007); la correlación entre memoria de trabajo y pensamiento divergente (Southard, 2014; Hedblom, 2013); el importante y complejo rol que juega la memoria de trabajo en la flexibilidad del pensamiento divergente (Orzechowski, 2017); la influencia de la memoria de trabajo en la solución de problemas visuales, en situaciones con múltiples representaciones visuales (Yeh, Tsai, Hsu, Lin, 2014); la influencia positiva de la capacidad de memoria de trabajo en los procesos de improvisación creativa e ideación original, permitiendo la combinación persistente, enfocada y sistemática de elementos y posibilidades (persistencia) (De Dreu, Nijstad, Baas, Wolsink y Roskes, 2012). Algunos autores resaltan una gran participación de memoria de trabajo en el pensamiento divergente, siendo un proceso dirigido y orientado a metas, y una menor importancia de esta en los procesos creativos por *insight* (Hedblom, 2013), lo cual es acorde con la propuesta de Dietrich (2004A) en cuanto a los modos deliberado y espontáneo de creatividad, y una distinta función y participación de memoria de trabajo en ambos.

Igualmente, algunos autores indican que otros subcomponentes del funcionamiento ejecutivo también participan en el proceso creativo. Según Rodríguez (2015), las habilidades constituyentes del proceso metacognitivo como planificación, monitoreo, control y evaluación del proceso que se lleva a cabo tienen una relación estrecha con el desempeño creativo. Varios autores resaltan una contribución positiva y significativa del uso de estrategias metacognitivas en el desempeño creativo (Gutierrez-Braojos, Martín-Romera, Martínez-Fernández y Salmerón-Vílchez, 2012; Gutierrez-Braojos, Salmerón-Vílchez, Martín-Romera, Salmerón, 2013; Abdivarmazan, Taghizade, Mahmoudfakhe, Tosang y Boromand, 2014).

Igualmente, la inhibición podría ser uno de los procesos responsables de la eficiencia en cuanto a la selección de ideas más originales y diversas (flexibilidad) a partir de las redes semánticas disponibles. Por ejemplo, Mayseless, Eran y Shamay-Tsoory (2015) proponen que la generación de ideas originales implica tanto la capacidad de generar nuevas asociaciones, como la capacidad de superar respuestas automáticas comunes, que surgen mediante el pensamiento asociativo que se realiza a partir de la activación de “la red por defecto”, o sea de relaciones semánticas determinadas por la experiencia previa y las relaciones acostumbradas. En este orden de ideas, la habilidad de control cognitivo inhibitorio es imprescindible para la originalidad, sien-

do las ideas originales un producto de la interacción entre un sistema que genera ideas y un sistema de control que las evalúa.

A manera de reflexión final

Como se puede observar a partir de lo expuesto, tanto el mismo proceso de creatividad, como sus correlatos neurológicos son bastante complejos y hasta el momento no existe una completa comprensión respecto de ellos. Esto muestra la necesidad de profundizar en este aspecto, orientándose hacia estudios que puedan proporcionar datos sobre funciones cognitivas relacionadas con la creatividad. En este sentido, Arden, Chavez, Grazioplene y Jung (2010), después de realizar un análisis exhaustivo de 45 estudios de neuroimágenes al respecto de la cognición creativa, concluyen que hay poca evidencia en la superposición en los resultados, debido a que muchos estudios utilizan pruebas diferentes. Los autores recomiendan fomentar la investigación psicométrica de la creatividad, indicando que el trabajo psicométrico básico es esencial para el campo de la creatividad, ya que es un constructo complejo que no está perfectamente capturado por las habilidades cognitivas relacionadas. Es necesario desarrollar estudios orientados en esta dirección e indagar por las posibles relaciones existentes entre la creatividad y el funcionamiento cognitivo del ser humano, con el fin de comprender mejor esta compleja capacidad humana y, de esta forma, elaborar estrategias metodológicas concretas para su respectivo fomento.

Referencias

- Abdivarmazan, M., Taghizade, M., Mahmoudfakhe, H., Tosang, M. y Boromand, N. (2014). A Study of the Efficacy of Meta Cognitive Strategies on Creativity and Self Confidence and Approaching Problem Solving among the Third Grade Junior School Students of the City of Rey. *European Journal of Experimental Biology*, 4(2), 155-158. Retrieved from: <http://www.imedpub.com/articles/a-study-of-the-efficacy-of-meta-cognitive-strategies-on-creativity-and-selfconfidence-and-approaching-problem-solving-among-the-th.pdf>
- Abraham, A., Beudt, S., Ott, D. y Von Cramon, Y. (2012). Creative Cognition and the Brain: Dissociations between Frontal, Parietal-Temporal and Basal Ganglia Groups. *Brain Research*, 1482, 55-70. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2012.09.007>
- Abraham, A., Pieritz, K., Thybusch, K., Rutter, B., Kröger, S., Schweckendiek, J.,... Hermann, C. (2012). Creativity and the Brain: Uncovering the Neural Signature of Conceptual Expansion. *Neuropsychologia*, 50(8), 1906-1917. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.04.015>

- Abraham, A. (2014). Creative Thinking as Orchestrated by Semantic Processing Vs. Cognitive Control Brain Networks. *Frontiers Human Neuroscience*, 8, 95. doi: 10.3389/fnhum.2014.00095
- Arden, R., Chavez, R., Grazioplene, R. y Jung, R. (2010). Neuroimaging Creativity: A Psychometric View. *Behavioural Brain Research*, 214(2), 143-156. doi: 10.1016/j.bbr.2010.05.015
- Arietti, S. (1976). *Creativity, the Magic Synthesis*. New York, USA: Basic Books.
- Arnsten, A. y Goldman-Rakic, P. (1984). Selective Prefrontal Cortical Projections to the Region of the Locus Coeruleus and Raphe Nuclei in the Rhesus Monkey. *Brain Research*, 306(1-2), 9-18. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6466989>
- Asari, T., Konishi, S., Jimura, K., Chikazoe, J., Nakamura, N. y Miyashita, Y. (2008). Right Temporopolar Activation Associated with Unique Perception. *NeuroImage*, 41(1), 145-152. doi: 10.1016/j.neuroimage.2008.01.059
- Aziz-Zadeh, L., Liew, S. y Dandekar, F. (2013). Exploring the Neural Correlates of Visual Creativity. *SCAN*, 8(4), 475-480. doi: 10.1093/scan/nss021
- Barkley, R. (1997). *ADHD and the Nature of Self-Control*. New York, USA: Guilford Press.
- Bechtereva, N., Danko, S., Starchenko, M., Pakhomov, S. y Medvedev, S. (2001). Study of the Brain Organization of Creativity: III. Brain Activation Assessed by the Local Cerebral Blood Flow and EEG. *Human Physiology*, 27(4), 390-397. Retrieved from: <https://link.springer.com/article/10.1023/A%3A1010946332369>
- Bechtereva, N., Korotkov, A., Pakhomov, S., Roudas, M., Starchenko, M. y Medvedev, S. (2004). PET Study of Brain Maintenance of Verbal Creative Activity. *International Journal of Psychophysiology*, 53(1), 11-20. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2004.01.001
- Benedek, M., Franz, F., Heene, M. y Neubauer, A. (2012). Differential Effects of Cognitive Inhibition and Intelligence on Creativity. *Personality and Individual Differences*, 53-334(4), 480-485. doi: 10.1016/j.paid.2012.04.014
- Bengtsson, S., Csikszentmihalyi, M. y Ullen, F. (2007). Cortical Regions Involved in the Generation of Musical Structures During Improvisation in Pianists. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(5), 830-842. doi: 10.1162/jocn.2007.19.5.830
- Berkowitz, A. y Ansari, D. (2008). Generation of Novel Motor Sequences: The Neural Correlates of Musical Improvisation. *NeuroImage*, 41(2), 535-543. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.02.028>
- Buriticá, E. y Pimienta-Jiménez, H. (2007). Corteza frontopolar humana. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 39(1), 127-142. Retrieved from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2313169>
- Bustos, D., Arán, V. y Krumm, G. (2013). Creatividad, funciones ejecutivas e inteligencia: un estudio en niños de habla hispana. In *Conference: 34th American Congress of Psychology*. Congress held in Brasil.
- Carlsson, I., Wendt, P. y Risberg, J. (2000). On the Neurobiology of Creativity. Differences in Frontal Activity between High and Low Creative Subjects. *Neuropsychologia*, 38(6), 873-885. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10689061>
- Carson, S., Peterson, J. y Higgins, D. (2003). Decreased Latent Inhibition Is Associated with Increased Creative Achievement in High-Functioning Individuals. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85(3), 499-506. doi: 10.1037/0022-3514.85.3.499
- Castillo-Delgado, M., Ezquerro-Cordón, A., Llamas-Salguero, F. y López-Fernández, V. (2016). Estudio neuropsicológico basado en la creatividad, las inteligencias múltiples y

- la función ejecutiva en el ámbito educativo. *ReiDoCrea*, 5, 9-15. Recuperado de: <http://www.ugr.es/~reidocrea/5-2.pdf>
- Chamberlain, R., McManus, I., Brunswick, N., Rankin, Q., Riley, H. y Kanai, R. (2014). Drawing on the Right Side of the Brain: A Voxel-Based Morphometry Analysis of Observational Drawing. *NeuroImage*, 96, 167-173. doi: 10.1016/j.neuroimage.2014.03.062
- Chávez-Eakle, R., Graff-Guerrero, A., García-Reyna, J., Vaugier, V. y Cruz-Fuentes, C. (2004). Neurobiología de la creatividad: resultados preliminares de un estudio de activación cerebral. *Salud Mental*, 27(3), 38-46. Recuperado de: <http://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=16520>
- _____. (2007). Cerebral Blood Flow Associated With Creative Performance: A Comparative Study. *NeuroImage*, 38(3), 519-528. doi: 10.1016/j.neuroimage.2007.07.059
- Chen, Q., Yang, W., Li, W., Wei, D., Li, H., Lei, Q.,... Qiu, J. (2014). Association of Creative Achievement with Cognitive Flexibility by a Combined Voxel-Based Morphometry and Resting-State Functional Connectivity Study. *NeuroImage*, 102(Pt 2), 474-483. doi: 10.1016/j.neuroimage.2014.08.008
- Chen, Q., Beaty, R., Wei, D., Yang, J., Sun, J. Liu, W.,... Qiu, J. (2016). Longitudinal Alterations of Frontoparietal and Frontotemporal Networks Predict Future Creative Cognitive Ability. *Cerebral Cortex*, 28(1), 103-115. doi: 10.1093/cercor/bhw353
- Cramond, B. (4-8 April 1994). The relationship between attention-deficit hyperactivity disorder and creativity. In *Annual Meeting of the American Educational Research Association*. Event held in New Orleans, USA.
- Christoff, K., Prabhakaran, V., Dorfman, J., Zhao, Z., Kroger, J., Holyoak, K. y Gabrieli, J. (2001). Rostrolateral Prefrontal Cortex Involvement in Relational Integration During Reasoning. *NeuroImage*, 14(5), 1136-1149. doi: 10.1006/nimg.2001.0922
- Christoff, K., Keramatian, K., Gordon, A., Smith, R. y Mädlar, B. (2009). Prefrontal Organization of Cognitive Control According to Levels of Abstraction. *Brain Research*, 1286, 94-105. doi: 10.1016/j.brainres.2009.05.096
- De Dreu, C., Nijstad, B., Baas, M., Wolsink, I. y Roskes, M. (2012). Working Memory Benefits Creative Insight, Musical Improvisation, and Original Ideation Through Maintained Task-Focused Attention. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 38(5), 656-669. Retrieved from: <https://doi.org/10.1177/0146167211435795>
- De la Torre, S. y Violant, V. (2006) (Coords.). *Comprender y evaluar la creatividad* (Vol. 1). Málaga, España: Ediciones Aljibe.
- De Manzano, Ö. y Ullén, F. (2012). Activation and Connectivity Patterns of the Presupplementary and Dorsal Premotor Areas During Free Improvisation of Melodies and Rhythms. *NeuroImage*, 63(1), 272-280. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.06.024>
- De Souza, L., Volle, E., Bertoux, M., Czernecki, V., Funkiewiez, A., Allali, G.,... Levy, R. (2010). Poor Creativity in Frontotemporal Dementia: A Window into the Neural Bases of the Creative Mind. *Neuropsychologia*, 48(13), 3733-3742. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.09.010
- De Souza, L., Guimarães, H., Teixeira, A., Caramelli, P., Levy, R., Dubois, B. y Volle, E. (2014). Frontal Lobe Neurology and the Creative Mind. *Frontiers in Psychology*, 5, 761. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00761
- Díaz, I. y López, V. (2016). Relación entre la creatividad y las funciones ejecutivas en alumnos de Educación Infantil. *Revista Latinoamericana de Educación Infantil*, 5(1), 65-72.

- Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/335477646/relacion-entre-creatividad-y-funcion-ejecutiva>
- Díaz-Rojas, I. (2014). *Relación entre la creatividad y las funciones ejecutivas en alumnos de Educación Infantil. Propuesta de intervención* (Tesis de maestría). Universidad Internacional de La Rioja, España.
- Dietrich, A. (2003). Functional Neuroanatomy of Altered States of Consciousness: The Transient Hypofrontality Hypothesis. *Consciousness and Cognition*, 12(2), 231-256. doi: 10.1016/S1053-8100(02)00046-6
- _____. (2004). Neurocognitive Mechanisms Underlying the Experience of Flow. *Consciousness and Cognition*, 13(4), 746-761. doi: 10.1016/j.concog.2004.07.002
- _____. (2004a). The Cognitive Neuroscience of Creativity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(6), 1011-1026. Retrieved from: <https://link.springer.com/content/pdf/10.3758%2FBF03196731.pdf>
- Dietrich, A. y Kanso R. (2010). A Review of EEG, ERP, and Neuroimaging Studies of Creativity and Insight. *Psychological Bulletin*, 136(5), 822-848. doi: 10.1037/a0019749
- Drago, V., Foster, P., Trifiletti, D., FitzGerald, D., Kluger, B., Crucian, G. y Heilman, K. (2006). What's Inside the Art? The Influence of Frontotemporal Dementia in Art Production. *Neurology*, 67(7), 1285-1287. doi: 10.1212/01.wnl.0000238439.77764.da
- El-Sayed, E., Larsson, J., Persson, H., Santosh, P. y Rydelius, P. (2003). "Maturation Lag" Hypothesis of Attention Deficit Hyperactivity Disorder: An Update. *Acta Paediatrica*, 92(7), 776-784. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12892153>
- Escobar, A., Gómez-González, B. (2006). Creatividad y función cerebral. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 7(5), 391-399. Recuperado de: <http://new.medigraphic.com/cgi-bin/resumen.cgi?IDARTICULO=14088>
- Faust-Socher, A., Kenett, Y., Cohen, O., Hassin-Baer, S. e Inzelberg, R. (2014). Enhanced Creative Thinking under Dopaminergic Therapy in Parkinson Disease. *Annals of Neurology*, 75(6), 935-942. doi: 10.1002/ana.24181
- Fink, A., Koschutnig, K., Hutterer, L., Steiner, E., Benedek, M., Weber, B.,... Weiss, E. (2014). Gray matter density in relation to different facets of verbal creativity. *Brain Structure and Function*, 219(4), 1263-1269. doi: 10.1007/s00429-013-0564-0
- Flaherty, A. (2005). Frontotemporal and Dopaminergic Control of Idea Generation and Creative Drive. *The Journal of Comparative Neurology*, 493(1), 147-153. doi: 10.1002/cne.20768
- Fugate, C. M., Zentall, S. y Gentry, M. (2013). Creativity and Working Memory in Gifted Students with and without Characteristics of Attention Deficit Hyperactive Disorder. *Gifted Child Quarterly*, 57(4), 234-246. Retrieved from: <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0016986213500069>
- Gansler, D., Moore, D. Susmaras, T., Jerram, M., Sousa, J. y Heilman, K. (2011). Cortical morphology of visual creativity. *Neuropsychologia*, 49(9), 2527-2532. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.05.001
- Gibson, C., Folley, B. y Park, S. (2009). Enhanced Divergent Thinking and Creativity in Musicians: A Behavioral and Near-Infrared Spectroscopy Study. *Brain and Cognition*, 69(1), 162-169. doi: 10.1016/j.bandc.2008.07.009
- Goel, V. y Vartanian, O. (2005). Dissociating the Roles of Right Ventral Lateral and Dorsal Lateral Prefrontal Cortex in Generation and Maintenance of Hypotheses in Set-Shift Problems. *Cerebral Cortex*, 15(8), 1170-1177. doi: 10.1093/cercor/bhh217

- Gonen-Yaacovi, G., De Souza, L., Levy, R., Urbanski, M., Josse, G. y Volle, E. (2013). Rostral and Caudal Prefrontal Contribution to Creativity: A Meta-Analysis of Functional Imaging Data. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 1-22. doi: 10.3389/fnhum.2013.00465
- González-Carpio, G. y Serrano, J. (2016). Medication and Creativity in Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). *Psicothema*, 28(1), 20-25. doi: 10.7334/psicothema2015.126
- González-Carpio, G., Serrano, J. y Nieto, M. (2017). Creativity in Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). *Psychology*, 8(3), 319-334. Retrieved from: <https://doi.org/10.4236/psych.2017.83019>
- Gutierrez-Braojos, C., Martín-Romera, A., Martínez-Fernández, J. y Salmerón-Vílchez, P. (2012). ¿Influye el uso de estrategias metacognitivas sobre el potencial creativo? *Revista de Psicología y Educación*, 7(2), 89-103. Recuperado de: <http://www.revista-depsicologiayeducacion.es/pdf/80.pdf>
- Gutierrez-Braojos, G., Salmerón-Vílchez, P., Martín-Romera, A. y Salmerón, H. (2013). Efectos directos e indirectos entre estilos de pensamiento, estrategias metacognitivas y creatividad en estudiantes universitarios. *Anales de Psicología*, 29(1), 159-170. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.6018/analesps.29.1.124651>
- Haarmann, H., George, T., Smaliy, A. y Dien, J. (2012). Remote Associates Test and Alpha Brain Waves. *The Journal of Problem Solving*, 4(2). doi: 10.7771/1932-6246.1126
- Hao, N., Ku, Y., Liu, M., Hu, Y., Bodner, M., Grabner, R. y Fink, A. (2016). Reflection enhances creativity: Beneficial effects of idea evaluation on idea generation. *Brain and Cognition*, 103, 30-37. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandc.2016.01.005>
- Hasselmo, M., Linster, C., Patil, M., Ma, D. y Cekic, M. (1997). Noradrenergic suppression of Synaptic Transmission May Influence Cortical Signal-to-Noise Ratio. *Journal of Neurophysiology*, 77(6), 3326-3339. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9212278>
- Healey, D. y Rucklidge, J. (2005). An Exploration into the Creative Abilities of Children with ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 8(3), 88-95. doi: 10.1177/1087054705277198
- _____. (2006). An Investigation into the Relationship among ADHD Symptomatology, Creativity, and Neuropsychological Functioning in Children. *Child Neuropsychology*, 12(6), 421-438. doi: 10.1080/09297040600806086
- Hedblom, M. (2013). *The Role of Working Memory in Creative Insight: Correlation Analysis of Working Memory Capacity, Creative Insight and Divergent Thinking*. DiVA. Retrieved from: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:608467/FULLTEXT01.pdf>
- Heilman, K., Nadeau, S. y Beversdorf, D. (2003). Creative Innovation: Possible Brain Mechanisms. *Neurocase*, 9(5), 369-379. doi: 10.1076/neur.9.5.369.16553
- Heilman, K. (2016). Possible Brain Mechanisms of Creativity. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 31(4), 285-296. Retrieved from: <https://doi.org/10.1093/arclin/acw009>
- Jalil, P. (2007). Working Memory, Cerebellum, and Creativity. *Creativity Research Journal*, 19(1), 39-45. doi: 10.1080/10400410709336878
- Jaušovec, N. y Jaušovec, K. (2000). Differences in Resting EEG Related to Ability. *Brain Topography*, 12(3), 229-240. doi: 10.1023/A:1023446024923
- Jung, R., Segall, J., Bockholt, H., Flores, R., Smith, S., Chávez, R. y Haier, R. (2010). Neuroanatomy of Creativity. *Human Brain Mapping*, 31(3), 398-409. doi: 10.1002/hbm.20874

- Kaler, S. y Freeman, B. (1994). Analysis of Environmental Deprivation: Cognitive and Social Development in Romanian Orphans. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 35(4), 769-781. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/227824365_Analysis_of_Environmental_Deprivation_Cognitive_and_Social_Development_in_Romanian_Orphans
- Klimenko, O (2009). La pedagogía, la didáctica y la creatividad: un quehacer pedagógico reflexivo. *Katharsis*, (8), 83-96. Retrieved from: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5527357.pdf>
- Lewis, R. (1979). Creativity: The Human Resource. *The Journal of Creative Behavior*, 13(2), 75-80. doi: 10.1002/j.2162-6057.1979.tb00194.x
- Lopera, F. (2008). Funciones ejecutivas: aspectos clínicos. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 8(1), 59-76. Retrieved from: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3987492.pdf>
- Li, W., Li, X., Huang, L., Kong, X., Yang, W., Wei, D.,... Liu, J. (2015). Brain Structure Links Trait Creativity to Openness to Experience. *SCAN*, 10(2), 191-198. doi: 10.1093/scan/nsu041
- Limb, C. y Braun, A. (2008). Neural Substrates of Spontaneous Musical Performance: An FMRI Study of Jazz Improvisation. *PLoS ONE*, 3(2), e1679. doi: 10.1371/journal.pone.0001679
- Liu, S., Ming Chow, H., Xu, Y., Erkkinen, M., Swett, K., Eagle, M.,... Braun, A. (2012). Neural Correlates of Lyrical Improvisation: An FMRI Study of Freestyle Rap. *Scientific Reports*, 2, 834. doi: 10.1038/srep00834
- Lhermitte, F. (1983). "Utilization behaviour" and its relation to lesions of the frontal lobes. *Brain*, 106(Pt 2), 237-255. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/685026>
- Lhommée, E., Batir, A., Quesada, J., Ardouin, C., Fraix, V., Seigneuret, E.,... Krack, P. (2014). Dopamine and the Biology of Creativity: Lessons from Parkinson's Disease. *Frontiers of Neurology*, 5, 55. doi: 10.3389/fneur.2014.00055
- Luria, A. (1969). *Higher Cortical Functions in Man and Their Disturbances in Local Brain Lesions* (Высшие корковые функции человека). Moscow, Russia: University Press.
- Martindale, C. y Greenough, J. (1973). The Differential Effect of Increased Arousal on Creative and Intellectual Performance. *The Journal of Genetic Psychology*, 123(2), 329-335. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1080/00221325.1973.10532692>
- Martindale, C. y Hasenpus, N. (1978). EEG differences as a function of creativity, stage of the creative process, and effort to be original. *Biological Psychology*, 6(3), 157-167. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/667239>
- Matallana, D., Reyes, P., Palacio, K., Moreno, T., Montañés, P. y Cano, C. (2011). Demencia y creatividad: emergencia de una actividad pictórica en un paciente con afasia primaria progresiva. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 40(4), 807-817. Recuperado de: [https://doi.org/10.1016/S0034-7450\(14\)60167-0](https://doi.org/10.1016/S0034-7450(14)60167-0)
- Mayselless, N., Eran, A. y Shamay-Tsoory, S. (2015). Generating original ideas: The neural underpinning of originality. *NeuroImage*, 116, 232-239. doi: 10.1016/j.neuroimage.2015.05.030
- Mednick, S. (1962). The Associative Basis of the Creative Process. *Psychological Review*, 69(3), 220-232. Retrieved from: <http://www.tamu.edu/faculty/stevesmith/689/Mednick%201962.pdf>

- Mendez, M. (2004). Dementia as a Window to the Neurology of Art. *Medical Hypotheses*, 63(1), 1-7. doi: 10.1016/j.mehy.2004.03.002
- Metcalfe, J. y Wiebe, D. (1987). Intuition in Insight and Noninsight Problem Solving. *Memory & Cognition*, 15(3), 238-246. Retrieved from: <https://link.springer.com/content/pdf/10.3758%2FBF03197722.pdf>
- Orzechowski, J. (23-24 January 2017). Working Memory and Flexibility in Creative Thinking. In *International Conference on Literature, Humanities and Social Sciences (LHSS-17)*. Conference held in Manila, Philippines.
- Pidgeon, L., Grealy, M., Duffy, A., Hay, L., McTeague, C., Vuletic, T.,... Gilbert, S. (2016). Functional Neuroimaging of Visual Creativity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Brain and Behavior*, 6(10), e00540. doi: 10.1002/brb3.540
- Post, F. (1994). Creativity and Psychopathology: A Study of 291 World Famous Men. *The British Journal of Psychiatry*, 165(1), 22-34. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/15246275_Creativity_and_psychopathology_A_study_of_291_world-famous_men
- Race, E., Kuhl, B., Badre, D. y Wagner, A. (2009). The Dynamic Interplay between Cognitive Control and Memory. In M. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neuroscience* (pp. 705-725). London, UK: Massachusetts Institute of Technology.
- Raichle, M. y Snyder, A. (2007). A Default Mode of Brain Function: A Brief History of an Evolving Idea. *NeuroImage*, 37(4), 1083-1090. doi: 10.1016/j.neuroimage.2007.02.041
- Ramírez, V., Llamas-Salguero, F. y López-Fernández, V. (2017). Relación entre el desarrollo neuropsicológico y la creatividad en edades tempranas. *International Journal of Humanities and Social Science Invention*, 6(1), 34-40. Retrieved from: [http://www.ijhssi.org/papers/v6\(1\)/Version-3/F0601033440.pdf](http://www.ijhssi.org/papers/v6(1)/Version-3/F0601033440.pdf)
- Razumnikova, O. (2004). Gender Differences in Hemispheric Organization During Divergent Thinking: An EEG Investigation in Human Subjects. *Neuroscience Letters*, 362(3), 193-195. doi:10.1016/j.neulet.2004.02.066
- Reyes-Meza, V., Flores-Sosa, M., Nava-Reyes, A., Pelayo-González, H. y Morales-Ballinas, A. (2015). Executive Functions in Undergraduate Students Enrolled in a Creativity Course. *Interamerican Journal of Psychology*, 49(2), 131-138. Retrieved from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28446019001>
- Richards, R., Kinney, D., Lunde, I., Benet, M. y Merzel, A. (1988). Creativity in Manic-Depressives, Cyclothymes, Their Normal Relatives, and Control Subjects. *Journal of Abnormal Psychology*, 97(3), 281-288. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/232472213_Creativity_in_Manic-Depressives_Cyclothymes_Their_Normal_Relatives_and_Control_Subjects
- Rodríguez, P. (2015). *Perfiles metacognitivos de la creatividad artística* (Tesis doctoral). Recuperado de: http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/566/Perfiles_metacognitivos_de_la_creatividad_art%C3%ADstica.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rosenzweig, M. y Bennett, E. (1996). Psychobiology of Plasticity: Effects of Training and Experience on Brain and Behavior. *Behavioural Brain Research*, 78(1), 57-65. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8793038>
- Rutter, B., Kröger, S., Stark, R., Schweckendiek, J., Windmann, S., Hermann, C. y Abraham, A. (2012). Can Clouds Dance? Neural Correlates of Passive Conceptual Expansion Using a Metaphor Processing Task: Implications for Creative Cognition. *Brain and Cognition*, 78(2), 114-122. doi: 10.1016/j.bandc.2011.11.002

- Saggar, M., Quintin, E., Bott, N., Kienitz, E., Chien, Y., Hong, D.,... Reiss, A. (2017). Changes in Brain Activation Associated with Spontaneous Improvization and Figural Creativity After Design-Thinking-Based Training: A Longitudinal fMRI Study. *Cerebral Cortex*, 27(7), 3542-3552. doi: 10.1093/cercor/bhw171
- Sang, B., Yu, J., Zhang, Z. y Yu, J. (2002). A Comparative Study of the Creative Thinking and Academic Adaptability of ADHD and Normal Children. *Psychological Science (China)*, 25(1), 31-33. Retrieved from: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-XLXX200201010.htm
- Sastre-Riba, S. y Viana-Sáenz, L. (2016). Funciones ejecutivas y alta capacidad intelectual. *Revista de Neurología*, 62(Supl X), S1-S7. Recuperado de: <http://altascapacidadesrioja.com/wp-content/uploads/2016/11/Funciones-ejecutivas-y-alta-capacidad-intelectual-2016-1.pdf>
- Schneider, P., Scherg, M., Dosch, H., Specht, H., Gutschalk, A. y Rupp, A. (2002). Morphology of Heschl's Gyrus Reflects Enhanced Activation in the Auditory Cortex of Musicians. *Nature Neuroscience*, 5(7), 688-694. doi: 10.1038/nn871
- Seeley, W., Matthews, B., Crawford, R., Gorno-Tempini, M., Foti, D., Mackenzie, I. y Miller, B. (2008). Unravelling Boléro: Progressive Aphasia, Transmodal Creativity and the Right Posterior Neocortex. *Brain*, 131(1), 39-49. doi: 10.1093/brain/awm270
- Shamay-Tsoory, S. Adler, N., Aharon-Peretz, J., Perry, D., Mayseless, N. (2011). The Origins of Originality: The Neural Bases of Creative Thinking and Originality. *Neuropsychologia*, 49(2), 178-185. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.11.020
- Shaw, P., Eckstrand, K., Sharp, W., Blumenthal, J., Lerch, J., Greenstein, D.,... Rapoport, J. (2007). Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Is Characterized by a Delay in Cortical Maturation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(49), 19649-19654. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18024590>
- Simonton, D. (2003). Scientific Creativity as Constrained Stochastic Behavior: The Integration of Product, Person, and Process. *Psychological Bulletin*, 129(4), 475-494. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12848217>
- Southard, E. (2014). *Examining the Relationships among Working Memory, Creativity, and Intelligence* (Master Thesis). Retrieved from: <https://digitalcommons.unf.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.es/&httpsredir=1&article=1564&context=etd>
- Storm, B. y Angello, G. (2010). Overcoming Fixation. Creative Problem Solving and Retrieval-Induced Forgetting. *Psychological Science*, 21(9), 1263-1265. doi: 10.1177/0956797610379864
- Slaby, A. (1992). Creativity, Depression and Suicide. *Suicide Life Threatening Behavior*, 22(2), 157-166. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1626330>
- Takahata, K., Saito, F., Muramatsu, T., Yamada, M., Shirahase, J., Tabuchi, H.,... Kato, M. (2014). Emergence of Realism: Enhanced Visual Artistry and High Accuracy of Visual Numerosity Representation after Left Prefrontal Damage. *Neuropsychologia*, 57, 38-49. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.02.022>
- Takeuchi, H., Taki, Y., Sassa, Y., Hashizume, H., Sekiguchi, A., Fukushima, A. y Kawashima, R. (2010a). Regional Gray Matter Volume of Dopaminergic System Associate with Creativity: Evidence from Voxel-Based Morphometry. *NeuroImage*, 51(2), 578-585. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.02.078

- _____. (2010b). White Matter Structures Associated with Creativity: Evidence from Diffusion Tensor Imaging. *NeuroImage*, *51*(1), 11-18. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.02.035
- Takeuchi, H. Taki, Y., Hashizume, H., Sassa, Y., Nagase, T., Nouchi, R. y Kawashima, R. (2011). Failing to Deactivate: The Association between Brain Activity During a Working Memory Task and Creativity. *NeuroImage*, *55*(2), 681-687. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.11.052
- Verdejo-García, A. y Bechara, A. (2010). Neuropsicología de las funciones ejecutivas. *Psicothema*, *22*(2), 227-235. Recuperado de: <http://www.psicothema.com/PDF/3720.pdf>
- Weinberger, D., Berman, K. y Zec, R. (1986). Physiologic Dysfunction of Dorsolateral Prefrontal Cortex in Schizophrenia. *Archives of General Psychiatry*, *43*(2), 114-124. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3947207>
- Wenfu, L., Junyi, Y., Qinglin Z., Gongying L. y Jiang Q. (2016). The Association between Resting Functional Connectivity and Visual Creativity. *Scientific Reports*, *6*, 25395. doi: 10.1038/srep25395
- Wynn, T. y Coolidge, F. (2014). Technical Cognition, Working Memory and Creativity. *Pragmatics & Cognition*, *22*(1), 45-63. doi: 10.1075/pc.22.1.03wyn
- Yeh, Y., Tsai, J., Hsu, W. y Lin, C. (2014). A Model of How Working Memory Capacity Influences Insight Problem Solving in Situations with Multiple Visual Representations: An Eye Tracking Analysis. *Thinking Skills and Creativity*, *13*, 153-167. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2014.04.003>
- Zhu, F., Zhang, Q. y Qiu, J. (2013). Relating Inter-Individual Differences in Verbal Creative Thinking to Cerebral Structures: An Optimal Voxel-Based Morphometry Estudy. *PLoS One*, *8*(11), e79272. Retrieved from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079272>
- Zhu, W., Chen, Q., Tang, C., Cao, G., Hou, Y. y Qiu, J. (2016). Brain Structure Links Everyday Creativity to Creative Achievement. *Brain and Cognition*, *103*, 70-76. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandc.2015.09.008>

