

NEUROBIOLOGÍA DE LA CREATIVIDAD: RESULTADOS PRELIMINARES DE UN ESTUDIO DE ACTIVACIÓN CEREBRAL*

Rosa Aurora Chávez^{1,2,3}, Ariel Graff-Guerrero^{1,2,4}, Juan Carlos García-Reyna¹, Víctor Vaugier¹, Carlos Cruz-Fuentes¹

SUMMARY

Creativity is important for individuals and for societies. The study of creativity from a neurobiological perspective is still a challenge for researchers. The creative process involves the integration of several mental functions, but also involves all the components of life experience.

Chávez proposed that creativity is the process of generating something, transforming or transcending the existing. This process comprises three overlapping phases: (A) *Association-integration*: the individual makes associations between elements of the external world and the own subjectivity, becoming aware of these associations. The person continues to incorporate new elements from external reality and from the interior world, connecting ideas, images, sensations, perceptions, emotions; sometimes with periods of apparent latency. During this phase a perceptual, sensorial, cognitive and affective integration occurs. Different levels of consciousness are involved in this phase. (B) *Elaboration*: the person works with the association building a product, using her or his particular talents and abilities. This phase is conscious and involves volition. (C) *Communication*: by sharing the work the associations are transmitted and reproduced in others, as well as the sensorial and emotional experience. This leads the audience to produce new associations in themselves. Communication ends the process at the time that new creative processes begin in others. Reality is, in consequence, understood from a new perspective.

Arieti proposed that creativity is associated with an increase in the temporo-occipito-parietal cortexes functioning; and also with an increase of the interactions between these areas and the prefrontal cortex, independently from the stimuli intensity; keeping the mentioned areas, a disposition to activation. Martindale found electroencephalographic differences in highly creative individuals. These differences comprised greater activity in right parieto-temporal areas; higher alpha activity during analogs of inspiration; and a greater tendency to present physiological over-response. Miller and colleagues reported three cases of patients who began artistic production after the onset of fronto-temporal dementia.

These patients increased their artistic productivity during the early and middle stages of the disease. The authors suggest that a decrease in the anterior temporal function could be associated with an increase of the artistic activity because the posterior visual cortex becomes disinhibited, which could cause intense visual experiences and non filtered memories. Carlsson and cols. found that during the performance of a creative task highly creative individuals display higher cerebral blood flow in right and left frontal regions when compared with low creative individuals. Bekhtereva and colleagues found that greater creative achievement is associated to higher synchronization values in anterior cortical areas; it is also associated to an increase in the general coherence in right and left frontal lobes; and to a higher cerebral blood flow in Brodmann areas 8-11 and 44-47.

Objective

The aim of the present research was to correlate the figural and verbal creativity indexes (obtained with a valid and reliable creativity measure such as the Torrance Tests of Creative Thinking) with the cerebral blood flow, using Single Photon Emission Computerized Tomography (SPECT) and statistical parametric mapping

Method

Healthy individuals were recruited from a cohort of 100 adults; 40% of the cohort was integrated by artists, researchers, writers and/or composers with substantial achievement, in the peak of their careers and having been awarded with national and international prizes in their fields. These individuals were members of the National System of Researchers, the National System of Creators or were awarded as Young Creators. These systems provide economic support to the most productive scientists and artists, and in order to remain in these systems, members have to prove having a relevant and constant production in their fields. The cohort also recruited healthy control individuals from general population and psychiatric out-patients. The twelve individuals invited to participate in the brain images project were selected on behalf of their creativity index. The twelve subjects did not present medical, neurological, or psychiatric disorders, they were not under medication, and did not consume any psychoactive

*Trabajo que obtuvo el primer lugar en el II Concurso de Carteles en la categoría de Investigación Avanzada. XVIII Reunión de Investigación del INPRF. Septiembre 2003.

¹Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente

²Becarios de CONACYT

³Coordinadora de la Unidad de Estudio y Desarrollo de la Creatividad

⁴Unidad PET-Ciclotrón, UNAM

Correspondencia: Dra. Rosa Aurora Chávez. Calz. México-Xochimilco 101, San Lorenzo Huipulco, 14370 D.F. Mexico DF. (drchavezra@yahoo.com)

drug. The creativity index was obtained using the Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT figural and verbal forms). The Torrance Tests are the most known and used creativity instruments; they have shown high reliability and predictive validity in longitudinal studies (30 and 50 years). The figural and verbal TTCT provide a creativity index, which is an indicator of creative potential. The figural TTCT also provides scores on the following creative dimensions: fluency, originality, elaboration, abstraction, premature closure resistance. The verbal TTCT provides scores of fluency, flexibility and originality. Two TTCT verbal tasks were used when doing the brain images acquisition. The first task was a warm-up activity, whereas the second was administered after intravenous injection of the radiotracer Tc99m-ECD. Cerebral blood flow images were obtained by SPECT. The image processing and analysis were performed using statistical parametric mapping SPM2. The SPECT images were visually inspected for image quality. All the images were transformed to the ANALYZE format for their further automatic realignment. Images were spatially normalized using sinc-interpolation into the SPECT image template from the Montreal Neurological Institute (MNI). The significant threshold for a priori regions (fronto-temporal) was $t > 3$, $p\text{-corrected} < 0.01$ and clusters formed by more than 10 voxels. Linear correlations between the figural and verbal creativity indexes and the cerebral blood flow were done. Results were graphically presented using the Talairach-Tournoux coordinates system.

Results

It was found a positive significant correlation between the figural and verbal creativity indexes and the cerebral blood flow in the right precentral gyrus, Brodmann area (BA) 6 ($p\text{-corrected} < 0.001$). The figural creativity index also showed correlation with the cerebral blood flow in the right anterior cerebellum ($p\text{-corrected} < 0.005$). The creativity index obtained with the TTCT verbal showed correlation with the right postcentral gyrus, BA 3 ($p\text{-corrected} < 0.0001$); the left middle frontal gyrus, BA 11 ($p\text{-corrected} < 0.002$); the right rectal gyrus, BA 11 ($p\text{-corrected} < 0.002$); the right inferior parietal lobule, BA 40 ($p\text{-corrected} < 0.003$); and the right parahippocampal gyrus, BA 35 ($p\text{-corrected} < 0.006$).

Conclusions

According to what we know this is the first study correlating the figural and verbal creativity indexes obtained by the Torrance Tests of Creative Thinking with the cerebral blood flow. Most of the brain areas that showed correlation correspond to the right cerebral hemisphere, however, correlations were observed in both cerebral hemispheres suggesting that creative thinking involves bilateral activation. Both figural and verbal creativity indexes showed a high correlation with the cerebral blood flow in the right precentral gyrus; this area has been involved in the assimilation of sensorial information, the modulation of impulses transmitted to motor areas, motor learning, in the perception of phantom limb movements, and in sexual arousal. Figural and verbal creativity indexes correlated with cerebral blood flow in multiple areas in both cerebral hemispheres; these areas are involved in multimodal processing, in complex cognitive functions (such as imagery, memory and novelty processing among others) and in emotion processing; thus proposing that creativity is performed by a highly distributed brain system.

Key words: Creativity, Torrance Test of Creative Thinking Figural, brain activation, SPECT, SPM.

RESUMEN

La creatividad es importante para el bienestar individual y la supervivencia social y su estudio desde una perspectiva neurobiológica aún es un reto para los investigadores, ya que el proceso creativo implica la integración de diversas funciones mentales; así como de todos los componentes de la experiencia propia. Arieti propuso que la creatividad se asocia con el incremento en el funcionamiento de la corteza temporo-occipito-parietal (TOP) y con un incremento de su interacción con la corteza prefrontal (CPF), independientemente de la intensidad de los estímulos, manteniendo estas áreas una disposición a la activación. Martindale encontró diferencias electroencefalográficas en individuos con un alto índice de creatividad quienes presentaron una actividad mayor en las áreas parieto-temporales derechas, así como mayores índices de actividad alfa durante análogos de la inspiración, presentando dichos individuos además mayor tendencia a presentar una sobre-respuesta fisiológica. Miller y colaboradores documentaron tres casos de pacientes que incursionaron en una trayectoria artística pictórica tras haber iniciado con demencia frontotemporal, e incrementaron su productividad artística en los estadios temprano y medio de su enfermedad. Los autores sugieren que una disminución en la función temporal anterior puede asociarse con un incremento de la actividad artística ya que disminuye la inhibición de la corteza visual posterior lo cual conlleva experiencias visuales intensas y memorias visuales no filtradas. Carlsson y colaboradores encontraron que durante la realización de una tarea creativa los individuos con mayor índice de creatividad presentan mayor flujo cerebral en ambos lóbulos frontales. Bekhtereva y colaboradores encontraron que un mayor desempeño creativo se asocia con mayores valores de sincronización en áreas corticales anteriores, un incremento general en la coherencia de ambos frontales y un mayor flujo sanguíneo cerebral en las áreas de Brodmann 8-11 y 44-47.

Objetivo

El propósito de este estudio fue correlacionar el índice de creatividad, obtenido mediante instrumentos válidos y confiables para evaluar la creatividad, como las Pruebas de Torrance de Pensamiento Creativo (TTCT gráfica y verbal) con el flujo sanguíneo cerebral usando tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT) y mapeo estadístico paramétrico.

Método

Se reclutaron 12 individuos sanos provenientes de una cohorte de 100 adultos, los cuales fueron seleccionados en base a su índice de creatividad. Se les administró una tarea de desempeño creativo tras la inyección intravenosa del radioligando Tc99m-ECD. Las imágenes de flujo sanguíneo cerebral se obtuvieron mediante SPECT. El análisis de las imágenes fue realizado con el software SPM2. El umbral significativo para las regiones a priori (fronto-temporal) fue $t > 3$, $p\text{-corrected} < 0.01$ y grupos (cluster) formados por más de 10 voxels. Se realizaron correlaciones entre el flujo sanguíneo cerebral en áreas específicas y el índice de creatividad (TTCT gráfica y verbal). Las pruebas de Torrance son los instrumentos más difundidos y usados para la evaluación de la creatividad debido a su confiabilidad y a su validez predictiva.

Resultados

Se encontró 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.

Conclusiones

El índice de creatividad se correlaciona con el flujo cerebral en múltiples áreas de ambos hemisferios cerebrales, las cuales están involucradas en el procesamiento multimodal, en funciones cognitivas complejas y en el procesamiento de emociones. Esto lleva a proponer que el procesamiento central del proceso creativo se realiza en un sistema muy distribuido en el cerebro.

Palabras clave: Creatividad, Pruebas de Torrance de Pensamiento Creativo, activación cerebral, SPECT, SPM.

INTRODUCCIÓN

La creatividad es de gran importancia para el bienestar individual y la supervivencia social como para pasarla por alto (24). La ciencia, el arte, la tecnología y la filosofía tienen su fundamento en esta cualidad humana que implica la transformación de lo existente, la expansión de los campos conceptuales y estéticos y la trascendencia (6). El estudio de la creatividad desde una perspectiva neurobiológica es un reto para los investigadores y podría llevarnos a transformar la visión que tenemos de nosotros mismos y de nuestras sociedades (29).

Definición de creatividad

A lo largo de la historia ha habido principalmente cuatro modalidades para definir la creatividad (22). La creatividad es considerada: a) como un don divino otorgado o “un sitio” al que se llega; (b) a partir del producto y del sujeto creador es descrita como un productor y se hace énfasis en evaluar la calidad de sus productos; (c) como característica personal; (d) como proceso. La definición que a continuación será expuesta pertenece a este último rubro.

Chávez (7) propuso que la creatividad es el proceso de generar algo (material, estético, conceptual, etc) transformando o trascendiendo lo ya existente. Dicho proceso comprende tres fases que se superponen: (A) *Asociación-integración*: la persona realiza asociaciones entre elementos del mundo externo y elementos de su subjetividad y *se percata* de ellas (este proceso de tomar conciencia de las asociaciones corresponde a la llamada “iluminación” “a-ha” o “Eureka”). Este asociar ocurre de forma sucesiva y durante un tiempo variable; la persona continúa incorporando elementos nuevos de su realidad externa y de su mundo interior, conectando ideas, imágenes, sensaciones, percepciones y emociones. Algunas veces puede haber periodos de aparente latencia durante los cuales la persona puede incluso estar llevando a cabo diversas actividades; sin embargo, el proceso sigue latente y continúa. Durante esta fase ocurre una integración perceptual, sensorial, cognitiva y afectiva. Diferentes grados de con-

ciencia están implicados en esta fase. (B) *Elaboración*: de forma propositiva la persona trabaja con las asociaciones construyendo una obra, valiéndose de sus talentos y habilidades particulares. Esta fase es consciente e implica la volición. (C) *Comunicación*: al mostrar la obra a otros se transmiten y se reproducen en ellos las asociaciones y la experiencia sensorial y afectiva. Al participar de la obra el o los *sujetos receptores* descubren y se percatan de las asociaciones originales y producen nuevas asociaciones tanto en el mundo externo como en su propia subjetividad y la realidad global es comprendida desde otra perspectiva. La comunicación culmina el proceso pero al mismo tiempo inicia nuevos procesos creativos haciendo que la creatividad sea “contagiosa” (7).

El proceso creativo implica la integración de diversas funciones mentales; así como de todos los componentes de la experiencia propia. Durante estas fases el sujeto creativo construye y comparte una nueva versión de la realidad implicada en el territorio de su creación (7).

Estudios sobre la neurobiología de la creatividad

El estudio de la creatividad desde las Ciencias Naturales fue iniciado por Galton (12) quien propuso que se trata de un rasgo biológico y heredable y observó que en los sujetos altamente creativos se presenta una tasa de sinestesia (cuando un sentido es experimentado en la modalidad de otro, por ejemplo oír el color, degustar la forma) hasta siete veces mayor que en la población abierta. Ya en 1859 Maudsley había propuesto que la genialidad se ve asociada a una neurobiología “alterada” que hace que los grandes creadores parezcan locos “a veces” (referido en 8).

Tras un arduo trabajo de observación clínica y de análisis teórico, Arieti (1) propuso que la creatividad se asocia con el funcionamiento de la corteza temporo-occipito-parietal (TOP) que corresponde a las áreas de Brodmann (BA) 20, 21, 37, 7, 19, 39 y 40; y a su interacción con la corteza prefrontal (CPF) BA 9 y 12. La CPF y las áreas TOP son regiones en las cuales se llevan a cabo procesos de asociación y de síntesis, donde ocurren procesos mentales complejos tales como las actividades simbólicas, la anticipación y la abstracción. Estas áreas reciben y procesan estímulos del mundo exterior y de otras partes de la corteza cerebral. Arieti propuso que en estas áreas dichos estímulos son “transformados en constructos cada vez más elevados”. La asociación con el área correspondiente del hemisferio opuesto ocurre a través del cuerpo calloso. Las áreas TOP tienen conexiones importantes con los lóbulos frontales y con estructuras del sistema límbico. Estas redes neurales o engramas se extienden a otras áreas cerebrales. La CPF tiene, entre otras, la función de la

atención focal, la cual exige la capacidad de suprimir los estímulos secundarios. Esta área también tiene la función de prever y de planear, organizar actos o pensamientos en una determinada secuencia temporal con el propósito de alcanzar la meta fijada, de hacer elecciones y de iniciar la transformación de una elección mental en una acción motora. Arieti (1) sugirió que en la creatividad estas áreas incrementan su funcionamiento y por tanto, en la persona altamente creativa el intercambio de información entre las áreas TOP, la CPF y otras áreas es grande, independientemente de la intensidad del estímulo. Propuso además que las zonas mediales de los hemisferios cerebrales y ciertas estructuras del sistema límbico tales como el cíngulo y el hipocampo, al estar relacionadas con el tono emocional, deben ser importantes en todo proceso creativo, probablemente mediante una predisposición a tener una respuesta más intensa de la habitual. Para este autor se requiere la participación de las áreas motoras, visuales y auditivas y de los centros de lenguaje para que la persona creativa plasme su obra. De este modo el impulso retorna a las fuentes primarias después de una transformación complicada e impredecible. Finalmente Arieti consideró relevante tomar en cuenta la formación reticular y propuso que las estructuras que normalmente se encuentran inhibidas en la mayoría de la gente, en la persona altamente creativa mantienen una disposición a la activación (1).

Martindale, por otra parte, realizó estudios de electrofisiología comparando individuos de alta creatividad con individuos de baja creatividad. Encontró diferencias electroencefalográficas al comparar a individuos con elevados índices de creatividad con individuos con bajos índices de creatividad durante la realización de una misma tarea creativa (17). Los individuos con alto índice de creatividad tuvieron una actividad mayor en las áreas parieto-temporales derechas. Años después Martindale (16, 18) encontró además que los individuos altamente creativos tienen la tendencia a presentar una sobre-respuesta fisiológica; por ejemplo presentan un mayor bloqueo del ritmo alfa en respuesta a distintos tonos, se habitúan de forma más lenta a los estímulos, y tienden a evaluar la estimulación eléctrica como más dolorosa. Los individuos con índices bajos de creatividad tienden a presentar mayor bloqueo del ritmo alfa durante la realización de diversas tareas cognitivas, incluyendo tareas creativas, mientras que los individuos con elevados índices de creatividad tienden a presentar una respuesta diferencial: durante la realización de tareas no creativas presentan un elevado bloqueo alfa, sin embargo, durante la realización de tareas creativas muestran un incremento de la actividad alfa (19). Al evaluar si durante distintas fases del proceso creativo había una res-

puesta distinta, Martindale (17) y sus colaboradores encontraron que durante una tarea análoga a la inspiración (asociación) en los individuos altamente creativos se apreciaban mayores índices de actividad alfa que durante la elaboración, no habiendo encontrado este patrón en sujetos con bajos puntajes de creatividad. Martindale (16) relaciona los hallazgos anteriores con un proceso de atención difusa asociado con la creatividad o, dicho de otro modo: las personas menos creativas fijan demasiado su atención, lo cual les impide pensar en cosas más originales.

Miller y colaboradores (20) documentaron tres casos de pacientes que incursionaron en una trayectoria artística pictórica tras haber iniciado con demencia frontotemporal, incrementando su productividad artística en los estadios temprano y medio de su enfermedad. Los tres tenían una variante de demencia frontotemporal, padecimiento en el cual los lóbulos temporales en su porción anterior son disfuncionales pero los lóbulos frontales están relativamente conservados. Uno de los casos era el de un comerciante que había sido exitoso previamente a su padecimiento actual y que posteriormente experimentó episodios de disforia y de agitación en los que percibía luces y sonidos "exquisitamente intensos". Fue entonces, a los 58 años, cuando inició su producción creativa. Nunca antes había manifestado interés en el arte. Dos años después se tornó repetitivo, desinhibido y únicamente mantuvo su sensibilidad visual, lo cual lo llevó a experimentar con diversos colores y a variar los bordes de los objetos, llegando incluso a ganar premios en exposiciones locales. A los 68 años se tornó irritable. Con una puntuación de 15 en el minimental y una resonancia magnética que mostraba atrofia bitemporal, así como hipoperfusión bitemporal documentada por SPECT, continuaba aún con su actividad pictórica. Los autores sugieren que una disminución en la función temporal anterior puede asociarse con un incremento de la actividad artística ya que disminuye la inhibición de la corteza visual posterior, lo cual conlleva experiencias visuales intensas y memorias visuales "no filtradas". Una sensibilidad visual incrementada puede servir como motivación para la pintura. El funcionamiento de los lóbulos frontales y parietales permite la planeación y la ejecución del arte. Los autores sugieren que se realicen estudios posteriores sobre la relación recíproca entre las cortezas temporal anterior y visual en aras de incrementar el entendimiento del proceso visual en la creatividad.

Carlsson y colaboradores (4) compararon el flujo cerebral entre sujetos de alto y bajo índice de creatividad, ante una tarea específica de fluidez verbal y de pensamiento divergente. Encontraron que ante ésta última, en los individuos de mayor índice de creativi-

dad ocurría un incremento en el flujo cerebral de ambos lóbulos frontales a diferencia del grupo de menor creatividad, en el cual el flujo cerebral era predominantemente izquierdo. El índice de creatividad en este estudio fue evaluado con una prueba diseñada por los autores, que consistía en la respuesta a imágenes visuales mostradas a alta velocidad; el desempeño creativo durante la adquisición de imágenes cerebrales no fue cuantificado.

Bekhtereva y colaboradores (2) realizaron un estudio de electroencefalografía en un grupo de estudiantes a los cuales se les administró una serie de tareas creativas; posteriormente compararon dichos resultados con el flujo sanguíneo cerebral observado en otro grupo de estudiantes durante el desempeño de la misma actividad. Estos autores encontraron que un mayor desempeño creativo se asociaba con mayores valores de sincronización en áreas corticales anteriores y con un incremento general en la coherencia de ambos frontales; asimismo en los sujetos que presentaron mejor desempeño creativo se encontró un mayor flujo sanguíneo cerebral en las áreas de Brodmann 8-11 y 44-47.

Como se puede apreciar, la investigación neurobiológica sobre la creatividad es un campo incipiente; se han establecido teorías interesantes que aún deben ser exploradas en condiciones experimentales, pero por otro lado en varios de los estudios mencionados durante la adquisición de las imágenes cerebrales funcionales no se han utilizado instrumentos válidos y confiables para evaluar la creatividad, como las Pruebas de Torrance de Pensamiento Creativo (que serán descritas con detalle en la sección de métodos); de allí la relevancia del presente estudio.

Las pruebas de Torrance (26) son, desde su elaboración, los instrumentos más difundidos y usados para la evaluación de la creatividad (han sido utilizadas en más de 2000 artículos de investigación), son los que tienen más referencias entre todas las pruebas de creatividad y, debido a su confiabilidad y a su validez predictiva, son las principales pruebas de creatividad utilizadas para detectar a los individuos de distintas edades, que poseen un elevado potencial creativo (9).

Hipótesis

Durante la realización de una tarea creativa se observarán áreas donde el flujo sanguíneo cerebral se correlacionará con el índice de desempeño creativo, evaluado con un instrumento específico. Dichas áreas probablemente correspondan a regiones fronto-temporales de ambos hemisferios cerebrales.

Objetivo

Correlacionar el flujo sanguíneo cerebral (FSC) con

los puntajes del índice de creatividad obtenidos mediante las Pruebas de Torrance de Pensamiento Creativo, forma gráfica y forma verbal, usando tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT).

MATERIAL Y MÉTODOS

Participantes

Los individuos que participaron en este estudio fueron reclutados de la cohorte de sujetos del proyecto de investigación: "Evaluación integral de la personalidad creativa: clínica, fenomenología y genética" que se lleva a cabo en este Instituto (5). Este proyecto ha incluido a 100 sujetos adultos, 40 de ellos dedicados de tiempo completo a la creación científica y/o artística, los que han recibido distinciones por su trayectoria (ej. Premios Nacionales de Ciencias y Artes) y que pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), al Sistema Nacional de Creadores (SNC) o al de Jóvenes Creadores. Estos sistemas proveen apoyo económico a los científicos y artistas más productivos en su campo y para poder permanecer dentro de esos sistemas sus miembros deben desarrollar una producción continua y relevante. Dicho proyecto también ha reclutado a sujetos de población abierta y a pacientes que acuden a consulta externa de primera vez al Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente. A todos los sujetos se les administraron las pruebas de Torrance de Pensamiento Creativo, tanto la forma gráfica como la verbal (26), así como el *Symptom Check-list 90* (SCL-90-R) para evaluar la severidad y el perfil de psicopatología (3, 10). Para la adquisición de imágenes cerebrales únicamente se invitó a participar a doce sujetos de la muestra total que hubieran presentado elevados puntajes en la Prueba de Torrance gráfica (Índice de creatividad [CI] > 139) o de aquéllos que presentaron un índice de creatividad promedio (CI = 103-111) y que no padecían ninguna enfermedad psiquiátrica, neurológica o médica al momento de la evaluación ni tampoco presentaban consumo de sustancias psicoactivas. Todos los sujetos presentaron un puntaje <1 en todas las subescalas del SCL-90-R, dicho puntaje se ha observado en individuos sin psicopatología diagnosticable. Criterios de exclusión: Menores de 18 años, presencia de alguna enfermedad sistémica y/o neuropsiquiátrica, uso de sustancias adictivas, estar bajo tratamiento farmacológico, pacientes embarazadas o lactando, falta de autorización por escrito. Todos los sujetos aceptaron participar y voluntariamente firmaron la carta de consentimiento informado. Todos los procedimientos realizados siguieron los lineamientos éticos señalados por el Instituto. Se reclutó una muestra total de 12 sujetos: 6 con índices de creatividad

sobresaliente (3 hombres y 3 mujeres); seis con índices de creatividad promedio (3 hombres y 3 mujeres).

Evaluación de la creatividad

La evaluación de la creatividad está basada primordialmente en la evaluación del pensamiento divergente. Guilford (13) definió esta forma de pensamiento, la cual lleva a soluciones insólitas y es pluridireccional, dúctil y adaptable y que a diferencia del pensamiento convergente no implica una solución única, sino una variedad de respuestas a un sólo estímulo. Siguiendo este modelo, Torrance (26) elaboró una batería de pruebas psicométricas para evaluar el pensamiento creativo, originalmente diseñada para aplicarse en niños de edad escolar, adaptable para adolescentes y adultos. La Prueba de Torrance de Pensamiento Creativo (TTCT) consiste en dos pruebas, la forma gráfica y la forma verbal (y cada una de ellas tiene la variante A y B, lo cual facilita la reaplicación después de un tiempo determinado). La TTCT verbal evalúa las siguientes dimensiones: (a) Fluidez: número de respuestas que un individuo expresa mediante respuestas interpretables que utilizan el estímulo proporcionado; (b) Flexibilidad: capacidad de transitar de un campo conceptual a otro; (c) Originalidad: respuestas únicas o infrecuentes. Tendencia a ir más allá de lo obvio o del lugar común, romper con el pensamiento habitual de formas sorprendentes. La TTCT gráfica evalúa las siguientes dimensiones de creatividad: (a) Fluidez; (b) Originalidad; (c) Elaboración: la idea es desarrollada o elaborada en detalle; (d) Resistencia al cierre prematuro: el cierre prematuro se refiere a la solución más sencilla y lógica, que generalmente resulta en una ausencia de originalidad, la apertura es esencial para el proceso de *incubación* (que corresponde a los períodos de latencia durante la fase de asociación); (e) Abstracción: capacidad de síntesis y organización de los procesos de pensamiento. Otros indicadores de creatividad que son considerados dentro de la prueba gráfica son: expresividad emocional, contexto, movimiento o acción, expresividad de títulos, síntesis, visualización inusual, visualización interna, extensión de límites, sentido del humor, riqueza de la imaginación, imaginación colorida, fantasía (27, 28).

Entre los individuos debidamente adiestrados para aplicar las TTCT existe un alto grado de confiabilidad $r = 0.96$ para fluidez, $r = 0.86$ para originalidad, $r = 0.94$ para flexibilidad en lo que respecta a las pruebas gráficas y $r = 0.99$ para fluidez, $r = 0.91$ para originalidad, $r = 0.95$ para flexibilidad en las pruebas verbales (26). De forma adicional, en estudios longitudinales a 22 y 30 años las pruebas de Torrance han demostrado tener una alta validez predictiva ($r > 0.57$) para los logros creativos profesionales y el desempeño creativo

en la vida diaria, así como para la imagen de la carrera futura (25). En la presente investigación se utilizó la versión en español de las TTCT gráfica y verbal (6). El entrenamiento en la administración y puntaje de dicha prueba fue obtenido en el Centro Torrance de Estudios de la Creatividad de la Universidad de Georgia, E.U., donde se corroboró una confiabilidad inter-evaluador satisfactoria ($r > 0.9$ en todas las dimensiones y en el índice global).

Procedimiento

A todos los sujetos se les administraron las TTCT verbal y gráfica forma B. En una cita posterior se procedió a la adquisición de las imágenes cerebrales, las cuales fueron obtenidas mediante SPECT. El día programado, a cada sujeto se le colocó un yelco en un brazo para mantener una vía venosa permeable, se le hizo recostar cómodamente dentro de un cuarto con mínimos estímulos visuales y auditivos, por 5 minutos. A continuación se llevó a cabo la tarea de "calentamiento" (*warming up*) la cual correspondió a la actividad "Sólo Suponer" de la TTCT verbal forma A. Posteriormente se le pidió al sujeto realizar la tarea creativa, que correspondió a la actividad "Usos Inusuales" de la TTCT verbal forma A. Dos minutos después del inicio de la tarea se administraron 20-25 mCi de Tc99m-ECD seguidos de 10 ml de solución salina por vía IV. Diez minutos después de terminada la tarea, se retiró el catéter endovenoso. De treinta a 40 minutos post-inyección se colocó al paciente en la camilla de la gama-cámara de triple cabezal, ajustando los colimadores a un radio de distancia no mayor de 14 cm. Todos los estudios fueron adquiridos con una matriz de 128x128, zoom de 1.23x, ajustando el fotópico a 140 Kev, con una ventana de 15%, empleando colimadores neurofocales, para obtener 120 proyecciones angulares de 80 mil cuentas, con una diferencia de 6° en un giro de 360° cada una.

Al finalizar la adquisición cada estudio fue evaluado para verificar la calidad del mismo y el grado de movimiento, se aplicaron filtros predeterminados y corrección de atenuación, para generar cortes en plano transversal, coronal y sagital para la evaluación cualitativa. El análisis cuantitativo de las imágenes fue realizado usando SPM2 (11). Las imágenes fueron transformadas al formato de ANALIZE para realineación (11). La determinación de los parámetros para normalización fue elaborada usando un promedio de imágenes hecha del total de nuestras imágenes, la imagen de SPECT del Instituto Neurológico de Montreal fue usada como plantilla. La interpolación fue hecha por método bilinear y el tamaño de las unidades de volumen (voxels) fue fijado 2x2x2 mm. Se suavizaron las imágenes a un valor 4x4x4 mm. El soft-

CUADRO 1

Resultados del análisis por medio del programa SPM2 donde se muestran las coordenadas y la localización anatómica de los grupos ("cluster") de voxeles para las regiones con correlación entre el flujo cerebral basal y los valores de CIG y CIV. Los valores *r*, *Z*, *p*-corregida (*p*-corr) y *p*-no corregida (*p*-no corr) corresponden a los obtenidos en el análisis de correlación simple para el voxel de máxima significancia de cada "cluster". AB, área de Brodmann. Las coordenadas corresponden al atlas del Instituto Neurológico de Montreal (MNI). El tamaño del "cluster" corresponde al número de voxeles en cada "cluster".

	Coordenadas (MNI)			Hemisferio	Región	AB	Tamaño del grupo	Valores			
	X	Y	Z					<i>r</i>	<i>Z</i>	<i>p</i> -corr	<i>p</i> -no corr
CIG	58	-6	48	Derecho	Giro precentral	6	20	0.78	3.07	0.01	0.001
	22	-34	-28	Derecho	Cerebelo anterior derecho		16	0.74	2.61	0.03	0.005
CIV	54	-8	52	Derecho	Giro postcentral	3	148	0.83	3.58	0.003	0.000
	62	6	28	Derecho	Giro precentral	6	15	0.78	3.0	0.01	0.001
	-42	48	-18	Izquierdo	Giro frontal medio	11	13	0.78	2.89	0.02	0.002
	10	10	-22	Derecho	Giro recto	11	21	0.78	2.82	0.02	0.002
	64	-28	38	Derecho	Lóbulo parietal inferior	40	16	0.75	2.75	0.02	0.003
	24	-34	-26	Derecho	Giro parahipocámpico	35	14	0.74	2.52	0.04	0.006

ware SPM2 hizo una regresión lineal separada para cada voxel. Se generaron correlaciones y mapas paramétricos de estadísticos T. El umbral de significancia fue un valor de $t > 3$, *p* corregida < 0.01 significativo para las regiones a priori (fronto-temporales) y grupos (cluster) formados por más de 10 voxeles. Se realizó una correlación lineal entre los puntajes de índice de creatividad obtenidos mediante las TTCT gráfica y verbal y el flujo sanguíneo cerebral. Se presentaron los resultados gráficamente en el sistema de coordenadas Talairach-Tournoux (23).

RESULTADOS

Se observó una correlación positiva, significativa entre los índices de creatividad y el flujo sanguíneo cerebral. El puntaje obtenido en la TTCT gráfica presentó una correlación positiva altamente significativa con el flujo sanguíneo cerebral en el giro precentral derecho, área de Brodmann (AB) 6 (*p* corregida < 0.001) y en el cerebelo anterior derecho (*p* corregida < 0.005). En el cuadro 1 se pueden apreciar los valores de las correlaciones.

El puntaje obtenido en la TTCT verbal presentó una correlación positiva altamente significativa con el flujo sanguíneo cerebral en (a) el giro postcentral derecho, AB 3 (*p* corregida < 0.0001), (b) el giro precentral derecho, AB 6 (*p* corregida < 0.001), (c) el giro frontal medio izquierdo AB 11 (*p* corregida < 0.002), (d) el giro recto derecho, AB 11 (*p* corregida < 0.002), (e) el lóbulo parietal inferior derecho, AB 40 (*p* corregida < 0.003), y (f) el giro parahipocámpico derecho, AB 35 (*p* corregida < 0.006). En el cuadro 1 se pueden apreciar los

valores de las correlaciones. La figura 1 muestra las áreas de correlación.

DISCUSIÓN

Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que correlaciona el índice de creatividad obtenido mediante las TTCT gráfica y verbal con el flujo sanguíneo cerebral. La mayor parte de las áreas que se correlacionaron corresponden al hemisferio derecho, sin embargo se observó correlación en ambos hemisferios lo cual sugiere que en el pensamiento creativo ocurre una activación bilateral.

El índice de creatividad obtenido mediante la TTCT gráfica presentó una correlación con un mayor flujo sanguíneo cerebral en el giro precentral derecho (AB 6), el cual ha sido implicado en la asimilación de información sensorial y en la modulación de los impulsos transmitidos hacia las áreas motoras, el aprendizaje motor y en la imaginación motora; también se ha observado activación de esta área durante la percepción de movimientos de miembros fantasma y durante la excitación sexual (15). Por otra parte se observó además una correlación con el flujo sanguíneo cerebral en el cerebelo anterior derecho. En general se ha relacionado al cerebelo con funciones motoras y autonómicas, sin embargo, estudios recientes señalan que su activación también se asocia con funciones cognitivas (lenguaje, memoria, aprendizaje y seguimiento visual) y reacciones emocionales, manteniendo estrechas relaciones con la amígdala, el hipocampo, el lóbulo temporal, el hipotálamo, el tálamo, el cíngulo anterior y la corteza orbitofrontal (21).

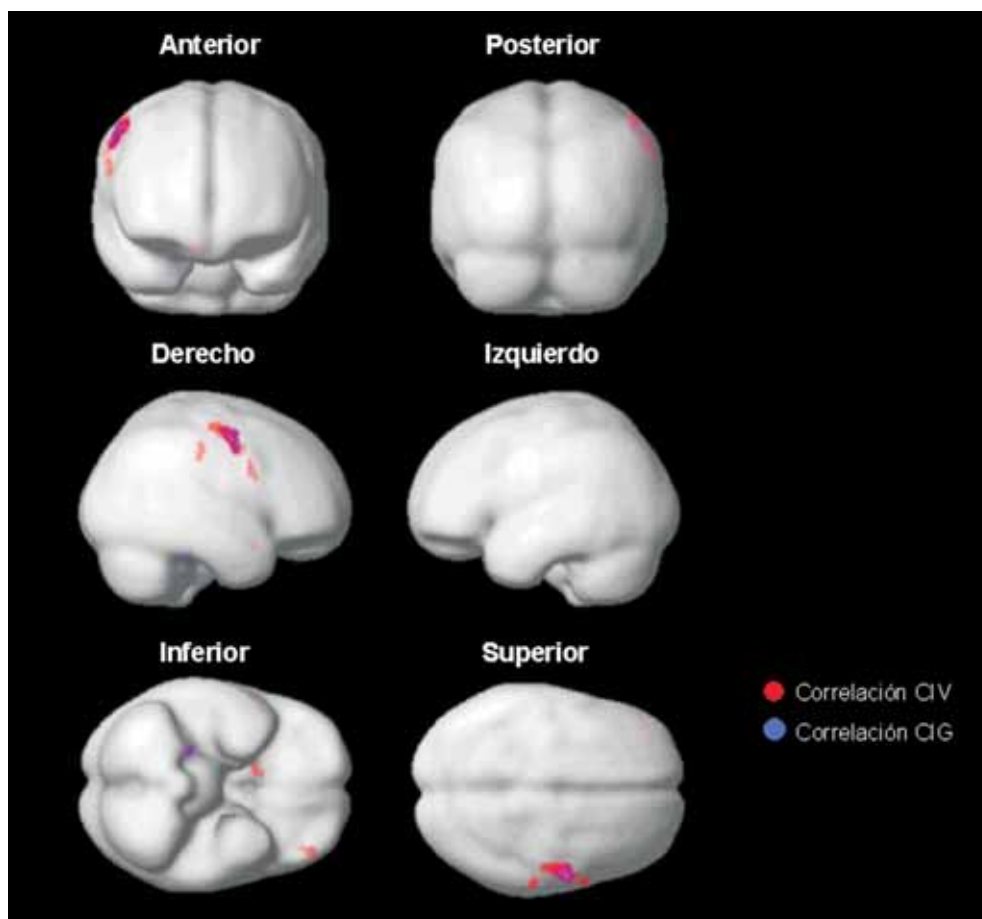


Fig. 1. Regiones de correlación entre el flujo sanguíneo cerebral y el índice de creatividad obtenido con la Prueba de Torrance de Pensamiento Creativo (gráfica y verbal). Para apreciar detalles de localización y de tamaño de clusters referirse al cuadro 1.

El índice de creatividad obtenido mediante la TTCT verbal también presentó una correlación con un mayor flujo sanguíneo cerebral en el giro precentral derecho (AB 6). Además se observó una correlación con el flujo sanguíneo cerebral en el giro postcentral derecho (AB 3) el cual también se ha asociado con procesos de imaginación motora (15); el giro frontal medio izquierdo y el giro recto derecho (AB 11) los cuales se han relacionado con el desempeño de tareas cognitivas complejas y con el procesamiento de emociones; estas estructuras mantienen una estrecha relación con la corteza del cíngulo anterior y con otras áreas del sistema límbico (21). La activación en el lóbulo parietal inferior derecho (AB 40) se ha relacionado con el procesamiento multimodal (21). Por último, la activación en el giro parahipocámpico derecho (AB 35) no sólo se ha relacionado con los procesos de memoria sino también con el procesamiento de la novedad. Los estímulos novedosos desencadenan un potencial cerebral en las regiones frontales centrales activando una red que involucra a la corteza prefrontal, la corteza posterior de asociación, las regiones temporales, la corteza del

cíngulo y el hipocampo. Se ha descrito que las lesiones en el hipocampo se asocian con una reducción de la respuesta a la novedad (14).

CONCLUSIONES

El índice de creatividad se asocia con un mayor flujo cerebral en las áreas que están involucradas en el procesamiento multimodal, el procesamiento de emociones y en funciones cognitivas complejas; la creatividad es un proceso dinámico que implica la integración de estos procesos. Esto lleva a proponer que el procesamiento central del proceso creativo se realiza en un sistema muy distribuido en el cerebro.

Agradecimientos

Agradecemos a los doctores Ramón de la Fuente quien hizo posible esta investigación, Paul Torrance, Gerardo Heinze, Carmen Lara y Walfred Rueda. También estamos especialmente agradecidos con los participantes de esta investigación.

REFERENCIAS

1. ARIETI S: *Creativity: the Magic Synthesis*. Basic, Nueva York, 1976.
2. BEKHTEREVA NP, DAN'KO SG, STARCHENKO MG, PAKHOMOV SV, MEDVEDE SV: Study of the brain organization of creativity: III. Brain activation assessed by the local cerebral blood flow and EEG. *Human Physiology*, 27:390-397, 2001.
3. BONICATTO S, DEW MA, SORIA JJ, SEFHEZZO ME: Validity and reliability of Symptom Checklist 90 (SCL-90) in an Argentine population sample. *Social Psychiatry Psychiatric Epidemiology*, 32:332-338, 1997.
4. CARLSSON I, WENDT PE, RISBERG J: On the neurobiology of creativity. Differences in frontal activity between high and low creative subjects. *Neuropsychologia*, 38:873-885, 2000.
5. CHAVEZ RA: Evaluación integral de la personalidad creativa: genética, clínica y fenomenología. Examen de candidatura al grado de Doctora en Ciencias. UNAM, México, 2003.
6. CHAVEZ RA: Evaluación de la relación entre creatividad, personalidad y psicopatología. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias. UNAM, México, 2001.
7. CHAVEZ RA: ¿Qué es la Creatividad? Tesis para obtener el grado de Especialista en Psiquiatría. UNAM, México, 1999.
8. CHAVEZ RA, LARA MC: Creatividad y psicopatología. *Salud Mental*, 5(23):1-9, 2000.
9. CRAMOND B: The Torrance Tests of Creative Thinking: Going beyond the scores. En: Fishkin A, Cramond B Olzewski-Kubilius P (eds.). *Investigating Creativity in Youth*. Hampton Press, Nueva Jersey, 1999.
10. DEROGATIS LR: *The Symptom Checklist-90-R: Administration, Scoring and Procedures Manual*. Clinical Psychometrics Research, Baltimore, 1994.
11. FRISTON KJ: Commentary and opinion: II. Statistical parametric mapping: ontology and current issues. *J Cereb Blood Flow Metab*, 15:361-70, 1995.
12. GALTON F: *Hereditary Genius, an Inquiry into its Laws and Consequences*. Macmillan and Co, Nueva York, 1892.
13. GUILFORD JP: *Intelligence, Creativity, and their Educational Implications*. Robert R Knapp, San Diego, 1968.
14. KNIGHT RT: Contribution of human hippocampal region to novelty detection. *Nature*, 383:256-259, 1996.
15. MALOUIN F, RICHARDS CL, JACKSON PL, DUMAS F, DOYON J: Brain activations during motor imagery of locomotor-related tasks: A PET study. *Human Brain Mapping*, 19:47-62, 2003.
16. MARTINDALE C: Creative imagination and neural activity. En: Kunzendorf R, Sheikh A (eds.). *The Psychophysiology of Mental Imagery*. Baywood, Amitville, 89-108, 1990.
17. MARTINDALE C: Creativity, consciousness and cortical arousal. *J Altered States Consciousness*, 3:68-87, 1977, 1978.
18. MARTINDALE C, ANDERSON K, MOORE K, WEST AN: Creativity, oversensitivity, and rate of habituation. *Personality Individual Differences*, 20:423-427, 1996.
19. MARTINDALE C, HINES D, MITCHELL L, COVELLO E: EEG alpha asymmetry and creativity. *Personality Individual Differences*, 5:77-86, 1984.
20. MILLER B, PONTON M, BENSON F, CUMMINGS J, MENA I: Enhanced artistic creativity with temporal lobe degeneration. *Lancet*, 348:1744-1745, 1996.
21. RHAWN J: *Neuropsychiatry, Neuropsychology, and Clinical Neuroscience*. Williams & Wilkins, Baltimore, 1996.
22. ROUQUETTE M: *La Créativité*. Presses Universitaires de France, 1973 (tr al español de Fernando Vidal: *La Creatividad*, Ed Huemul, Buenos Aires, 1977).
23. TALAIRACH J, TOURNOX P: Co-planar stereotaxic atlas of the human brain. *Three-Dimensional Proportional System*. Thieme Medical, Nueva York, 1998.
24. TIEDT S: *Creativity*. Silver Burdett Company, 29, 1976.
25. TORRANCE EP: The beyonders in a thirty year longitudinal study of creative achievement. *Roeper Review*, 15:131-135, 1993.
26. TORRANCE P: *Torrance Tests of Creative Thinking*. Scholastic Testing Service Inc. Bensenville, 1990.
27. TORRANCE EP: The nature of creativity as manifest in its testing. En: Sternberg RJ (ed.). *The Nature of Creativity*. Cambridge University Press, 43-75, Nueva York, 1988.
28. TORRANCE EP: *Making the Creative Leap Beyond*. Creative Education Foundation Press, Buffalo, 1999.
29. ZEKEI S: Artistic creativity and the brain. *Science*, 293:51-52, 2001.