

Conectividad Cerebral en la Regulación Emocional: La Solución de Problemas Emocionales

Fernando Gabriel Luna^{1*}, Julián Marino^{1,2}, Romina Garcia³, Rodrigo Jaldo¹,
Andrea Florencia Leaniz³, Gustavo Foa Torres³ y Alberto Acosta Mesas²

¹ *Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*

² *Universidad de Granada, España*

³ *Centro Privado de Tomografía Computada Córdoba S.A.
Fundación Oulton, Córdoba, Argentina*

La solución de problemas emocionales es un mecanismo de regulación emocional que utiliza estrategias cognitivo-lingüísticas para reducir el impacto afectivo de una situación y lograr un objetivo propuesto. Es considerado un mecanismo saludable junto con la reevaluación, a diferencia de la supresión y la rumiación. Estudios con técnicas de neuroimágenes han propuesto áreas cerebrales asociadas al funcionamiento de los diferentes mecanismos de regulación emocional. En este trabajo se propuso investigar los gradientes de conectividad cerebral de sustancia blanca asociados a la solución de problemas emocionales, con el objetivo de proponer una red de conectividad neuronal de este mecanismo de regulación emocional. Para evaluar la efectividad de la solución de problemas emocionales se utilizó una tarea conductual desarrollada recientemente basada en la recuperación semántica esforzada con estímulos de alto impacto afectivo. Participaron del estudio 32 mujeres jóvenes ($M= 24,34$; $DS=5,24$). Se obtuvieron coeficientes de correlación de Pearson entre las medidas del porcentaje de acierto de la tarea conductual y la anisotropía fraccional de los fascículos de sustancia blanca de interés. Los resultados proponen un red neuronal de solución de problemas emocionales en la que participarían principalmente el Fascículo Arqueado y Fronto Occipital Inferior del hemisferio izquierdo, cruciales en la implementación de estrategias de carácter léxico y semántico para la disminución del impacto afectivo.

* Agradecimientos: Centro Privado de Tomografía Computada Córdoba S.A. – Fundación Oulton, Córdoba, Argentina. Secretaría de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. Al revisor del manuscrito, quien realizó valiosas sugerencias para la estructura, organización y presentación del texto. Autor de correspondencia: Luna, Fernando Gabriel. San Cayetano 3215, Barrio ATE, Ciudad de Córdoba, Argentina. CP 5010. Correo electrónico: fluna@psyche.unc.edu.ar

La regulación emocional implica un conjunto de mecanismos de control de las emociones para adaptarse al contexto. La Solución de Problemas Emocionales (SPE) es uno de los principales mecanismos que utiliza la terapia cognitivo-conductual (Beck, Rush, Shaw, & Emery, 1983; Disner, Beevers, Haigh, & Beck, 2011; Grant & Beck, 2009). Supone la activación de un modelo mental situacional en el cual las emociones participan de un espacio de problemas. Este espacio tiene la estructura clásica del modelo de '*Solving Problems*' de Newell & Simon (1972). La estructura de la SPE tiene los siguientes elementos: genera una meta, se modela el ambiente como una miscelánea de determinantes (conjunto de variables de varios niveles de análisis) (Tversky & Kahneman, 1981), tiene movimientos posibles y restricciones a estos movimientos. En este espacio de SPE las emociones forman parte sustantiva, la persona busca alcanzar la meta. Lograrlo significa el pasaje de un estado A (peor) a un estado final B (mejor) (Rorty, 2013). Se consideró que este mecanismo de regulación emocional es una solución estratégica de fuerte compromiso ejecutivo, involucra un hábil uso del reconocimiento de las interferencias emocionales, comprende reconocer las propias emociones, las de otros y el mantenimiento de una meta. Por lo tanto, resulta lógico que demande la activación del funcionamiento ejecutivo (Aldao, Nolen-Hoeksema, & Schweizer, 2010) mientras logra su objetivo direccionando la información emocional, en numerosas ocasiones reconduciéndola a valencias afectivas y activaciones neutras.

Sin embargo, los mecanismos de regulación emocional más estudiados son la reevaluación (Mauss, Cook, Cheng, & Gross, 2007; Ochsner, Bunge, Gross, & Gabrieli, 2002; Ochsner & Gross, 2005) y la supresión (Goldin, McRae, Ramel, & Gross, 2008; Soto, Perez, Kim, Lee, & Minnick, 2011). La reevaluación implica la participación semántica en el control de las emociones. Representa la reestructuración del significado de una situación, a través de una actividad que resulta exigente para el sistema cerebro-mental (Goldin et al., 2008; Kalisch, 2009; Kumaran, Summerfield, Hassabis, & Maguire, 2009). En cambio, la supresión está vinculada al control inhibitorio de la conducta, implica evitar toda demostración de afectividad aunque se estén produciendo movilizaciones internas vegetativas e ideaciones. Ambos mecanismos involucran funciones ejecutivas, pero la reevaluación requiere un esfuerzo mayor porque demanda formar conceptos nuevos mientras se mantiene activa la representación de la situación emocional en la memoria de trabajo (Kumaran et al., 2009). La supresión puede resultar adaptativa ya que se debe considerar la gran cantidad de contextos actuales donde la persona tiene que evitar la manifestación de sus emociones, en especial en entornos laborales que

implican subordinación (Hackman & Farah, 2009). Sin embargo, hay numerosas evidencias de que su uso habitual conlleva consecuencias nocivas para la salud mental y está asociado a la presencia de hipertensión arterial, alteraciones cardíacas y enfermedades psicosomáticas (Aldao et al., 2010).

Teniendo en cuenta estos antecedentes, este estudio se propone conocer la relación entre la SPE (Marino, Luna, Leyva, & Acosta, 2015) y las redes neuronales cerebrales que la sostienen. La investigación neurocientífica en SPE es escasa, siendo más abundante en estudios de implementación y efectividad en el ámbito puramente clínico (Villemarette-Pittman, Stanford, & Greve, 2003). No ocurre lo mismo con la reevaluación y la supresión, ya que existe abundante información sobre la conectividad cerebral de estos mecanismos. En un trabajo de conectividad funcional la reevaluación evidenció una conectividad de larga escala, con activación de una red funcional que conectó los cuatro lóbulos cerebrales en diferentes secuencias temporales (Kumaran et al., 2009). Se destacó la relación por etapas de procesos entre el lóbulo temporal, porciones occipito-parietales, el giro prefrontal izquierdo, la corteza dorsolateral prefrontal, el cíngulo anterior, el cerebelo y la corteza orbito prefrontal. El experimento consistió en cambiar el significado afectivo de imágenes estandarizadas negativas a positivas mientras la persona observaba recostada en el resonador magnético, mientras que para su análisis se utilizó el modelo dinámico causal. En cambio la supresión evidenció un menor cambio hemodinámico, con conexión entre la porción amigdalina basolateral, la corteza insular y porciones específicas de la corteza orbito frontal (Scott, Leff, & Wise, 2003).

Como la SPE recoge la definición clásica de Newell & Simon (1972) de espacio y solución de problemas, luego de hallar solo escalas de medición autoinformadas se creó a partir de la tarea de Control Ejecutivo Semántico clásica (CES clásica) la tarea CES de SPE (CES-E) (Marino et al., 2015). Esta última logró una medición conductual validada de SPE, mientras que anteriormente se contaba solo con escalas de auto informes y estas suelen tener fuertes sesgos subjetivos que demandan el cruzamiento de datos con tareas conductuales. Por el contrario, la reevaluación y la supresión ya contaban con medidas conductuales fuertemente asentadas, en general basadas en la presentación de imágenes o sonidos estandarizados por sus dimensiones afectivas.

En la tarea CES-E se utilizaron estímulos semánticos por dos motivos: el mecanismo de regulación de reevaluación también implica manipulación semántica (Kanske, Heissler, Schönfelder, Bongers, & Wessa, 2011), y

tanto la SPE como la reevaluación se consideran los mecanismos de regulación emocional más saludables y de uso frecuente en la terapia cognitivo-conductual de la depresión y la ansiedad (Beck et al., 1983). Existen evidencias de que mientras mayor participación tengan los procesos semánticos en el control de emociones, más eficaces serán (Barrett, Lindquist, & Gendron, 2007). Incluso en la investigación de Villemarette-Pittman et al. (2003) se hallaron fuertes evidencias de que mientras más tenga desarrollada una persona el uso del lenguaje junto con la manipulación ejecutiva del mismo, menor será su nivel de impulsividad-agresión. Otro motivo de utilizar estímulos semánticos para diseñar la tarea conductual CES-E fue que en la actualidad hay una gran cantidad de intercambio de mensajes sin interfaz visual entre personas (correo electrónico, redes sociales) en los que se procesan palabras y sin embargo el sistema cerebro-mental corporizado atribuye emociones sin la interfaz corporal 'de cuerpo presente' (Hardill & Mills, 2013) que la evolución diseñó como principal estrategia para reconocer las emociones de otra persona y por supuesto animales (Niedenthal, Barsalou, Winkielman, Krauth-Gruber, & Ric, 2005).

No obstante, también se consideró que la tarea estaba asociada a la supresión por su compromiso con el control inhibitorio (Ochsner et al., 2002) que ya fue postulado en la creación de la tarea CES clásica (Badre & Wagner, 2007; Whitney, Kirk, O'Sullivan, Lambon Ralph, & Jefferies, 2011). Estas relaciones con reevaluación y supresión entre las tareas que las miden no desacreditan que la SPE se considere un mecanismo de regulación emocional independiente, aunque comparta rasgos de aquellos.

El criterio para diseccionar los tractos de sustancia blanca para conocer la red neuronal asociada a la SPE consistió en la inclusión de las fibras involucradas en el reconocimiento de palabras, el post-procesamiento semántico, la detección de conflictos, el control atencional, las respuestas a valencias emocionales, su etiquetamiento léxico y el control inhibitorio (Barrett et al., 2007; Catani & Thiebaut de Schotten, 2008; Thiebaut de Schotten et al., 2011). Luego se mencionarán concretamente cuáles fueron estos tractos y los métodos utilizados para su disección virtual, lograda con base en imágenes obtenidas mediante resonancia magnética por secuencias de ponderación de difusión (Leemans, Jeurissen, Sijbers, & Jones, 2009).

También el conocimiento de la conectividad cerebral de la reevaluación y la supresión sirvió para sugerir qué tractos estarían implicados en la SPE en espacios semánticos. De forma principal, se buscaron los relacionados con la red de Control Ejecutivo Semántico (red CES) (Whitney et al., 2011). La red CES asocia porciones de la corteza

temporal, prefrontal inferior y el polo frontal (función de abstracción de información y conceptualización) y se encuentra sólidamente asentada en la literatura (Jefferies, Patterson, & Ralph, 2008; Noonan, Jefferies, Visser, & Ralph, 2013).

Hay numerosas evidencias de que el cíngulo y la corteza de sustancia gris adyacente participan de forma activa en la supresión de conductas, la detección de conflictos y el envío de señales de alarma que indican una diferencia entre lo observado y lo esperado (Botvinick, Cohen, & Carter, 2004; Botvinick, 2008). El Fascículo Fronto-Occipital Inferior está relacionado con la lectura, también con las redes de atención (Catani & Thiebaut de Schotten, 2008; Funes & Lupiáñez, 2003). El Fascículo Arqueado es el tracto 'clásico' de la red del uso del lenguaje. En el modelo clásico de Geschwind, el Arqueado directo se consideraba el tracto que unía las áreas de comprensión con las áreas motoras del lenguaje (Martino et al., 2013). El Fascículo Longitudinal Superior resulta clave para la generación de estrategias perceptuales (Bernal & Altman, 2010). La porción derecha de este tracto fue relacionada en investigaciones anteriores a la red atencional de control cognitivo (Thiebaut de Schotten et al., 2011). Se midió también la conectividad del Fascículo Uncinado, porque conecta la corteza prefrontal con el polo temporal y con la región límbica, en especial con el grupo de neuronas de la amígdala (Eluvathingal et al., 2006; Harvey, Wei, Ellmore, Hamilton, & Schnur, 2013; Kiuchi et al., 2009). Este fascículo se dividió en su parte dorsal y en su porción ventral, ya que se consideró que la primera tenía funciones vinculadas a la semántica de las emociones (Barrett et al., 2007) y la segunda al impacto emocional del procesamiento de palabras negativas (de Zubicaray, Rose, & McMahon, 2011). Se demostró que las personas con escasa conectividad en el Fascículo Uncinado tienen un pobre comportamiento simbólico, alta impulsividad, desregulación emocional y agresividad (Eluvathingal et al., 2006). Esto incidiría en una baja capacidad de SPE, ya que en ese estudio la conectividad cerebral del Fascículo Uncinado fue relacionada con la privación temprana de afectos (se trabajó con huérfanos de la guerra de los Balcanes).

Finalmente, el objetivo fue conocer las características de la red neuronal que sostiene un mecanismo de Regulación Emocional tan importante como la SPE. Se buscó conocer qué tractos estaban asociados de forma coherente con la hipótesis de que la SPE implicaría una red de conectividad cerebral relacionada con los restantes mecanismos de regulación emocional, pero también con sus especificidades. Cumplir con este objetivo sería un paso para integrar la SPE a los estudios de neurociencias afectivas de los que ya gozan los otros mecanismos de regulación emocional. Por su importancia, se cree que la SPE debería ser

integrada nuevamente en la investigación en neurociencias afectivas con las tecnologías actuales disponibles. Se percibió en la revisión bibliográfica escasez de material de SPE en esta disciplina. En el procedimiento se detallará como la hipótesis se puso a prueba cuando los participantes realizaron la tarea CES-E que cumplía los criterios de la concepción clásica de resolución de problemas de Newell & Simon (1972), pero con un carácter semántico, ejecutivo y un fuerte componente emocional idóneo para investigar la red neuronal que sustenta la SPE (Aldao et al., 2010).

MÉTODO

Participantes. Participaron 32 mujeres estudiantes y egresadas de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, con edad entre 18 y 36 años ($M=24,34$; $DS=5,24$), de manera voluntaria. Se realizó una entrevista clínica y evaluación cognitiva previa para detectar antecedentes de patologías psiquiátricas o clínicas, siendo excluyente para la participación en el estudio no contar con diagnósticos psicopatológicos estandarizados (p.e. DSM IV). La evaluación cognitiva implicó la tarea Stroop versión Trenerry, el Trail Making Test partes A y B y la batería de Fluidez Verbal Completa (Marino & Alderete, 2009). Esta batería dispone de valores normativos adaptados a la ciudad de Córdoba; las personas que presentarían valores $z=-1,63$ teniendo en cuenta los valores de referencia serían descartadas. Ninguno de los participantes obtuvo esos valores. Una psicóloga clínica aplicó el cuestionario de detección de síntomas psiquiátricos basado en el DSM IV y el inventario de depresión de Beck. En caso de que alguna de las participantes hubiera quedado clasificada dentro de uno de los cuadros psiquiátricos o con valores compatibles con depresión sería excluida del estudio. Ninguna de las participantes tuvo que serlo. Las imágenes T1 fueron observadas por el médico neurólogo a cargo del Servicio de Neurocirugía de la Fundación Oulton y Profesor Titular de la cátedra de Diagnóstico por Imágenes de la Universidad Nacional de Córdoba, co-autor de este trabajo (GFT), para descartar posibles patologías. Hubiera sido idóneo obtener imágenes T2 para esto, pero no se realizó. El estudio fue aprobado por el comité de ética del Centro Privado de Tomografía Computada Córdoba S.A. – Fundación Oulton, y cada participante dio su consentimiento informado por escrito.

Procedimiento. Cada participante fue evaluada individualmente y en una sola sesión. Las evaluaciones conductuales fueron realizadas en las salas de evaluación conductual del Centro Privado de Tomografía

Computada Córdoba S.A. – Fundación Oulton. Luego de firmar el consentimiento informado, realizar la entrevista clínica y la evaluación cognitiva, se explicó a cada participante las condiciones para la adquisición de imágenes dentro del resonador magnético y los recaudos necesarios a tener en cuenta. Cuando los participantes ingresaron al resonador tuvieron cinco minutos de relajación y adaptación, mientras mantenían contacto auditivo permanente con el equipo técnico evaluador. Luego se iniciaron las secuencias de adquisición de imágenes T1, con una duración de 7 minutos. Posteriormente se adquirieron las imágenes con ponderación de difusión, con una duración de 15 minutos. Una vez finalizada esta etapa a cada participante se le administró la tarea CES-E, junto a una batería de pruebas neuropsicológicas de lenguaje, atención, regulación emocional y funciones ejecutivas, que serán reportadas en otros estudios. El procedimiento general tuvo una duración de 100 minutos por participante.

Adquisición de imágenes.

Las imágenes fueron obtenidas mediante un scanner Philips Achieva (1.5 T) perteneciente al Centro Privado de Tomografía Computada Córdoba S.A. – Fundación Oulton. Para las imágenes estructurales sin peso de difusión se utilizó una matriz de reconstrucción de 232 X 232, con una secuencia T1 volumétrica con los siguientes parámetros: amplitud por 'slice' 1 mm, gap 0 mm; TR/TE 500/50, tamaño de voxels [1 1 1]. El campo de visión tuvo los siguientes parámetros: FOV RL (mm) 257 FOV AP (mm) 256 FOV FH (mm) 176. En las imágenes con ponderación de difusión se utilizó una matriz de reconstrucción de 112 X 132, con secuencias eco-planares 'single-shot' con los siguientes parámetros: amplitud por 'slice' 1.5 mm, gap 0 mm; TR/TE 21386/76, tamaño de voxels: [2 2 2]; cantidad de direcciones de difusión = 64; valor β en unidades $s/mm^2 = 1000$. El campo de visión tuvo los siguientes parámetros: FOV RL (mm) 192 FOV AP (mm) 226 FOV FH (mm) 105.

El post-procesamiento de las imágenes fue realizado offline utilizando Matlab 7.10.0 y ExploreDTI v4.8.3 (Leemans et al., 2009). Las imágenes adquiridas de secuencia T1 y con ponderación de difusión fueron convertidas a formato 'Nifti', luego se generó la reconstrucción de todas las imágenes en la β -matriz. Se adquirió una sola imagen β_0 y 64 imágenes con ponderación de difusión. El post procesamiento de las imágenes implicó el uso de una máscara que excluyó los voxels que quedaban fuera de la imagen de referencia (β_0). Luego se hizo el Tensor de Difusión mediante la conjunción de los β -vectores y los β -valores hallados. La β -matriz permitió convertir las imágenes tridimensionales Nifti a formato matricial de cuatro

dimensiones en lenguaje MATLAB. La conversión de las imágenes Nifti a álgebra matricial con el que opera MATLAB se realizó con una afinación no lineal por cada participante a la imagen T1 de cada uno. Después de esta conversión se utilizó un método de corrección no lineal aplicando el algoritmo de alta robustez y control RESTORE (Reijmer et al., 2012) que controló los movimientos y la presencia de corrientes ‘Eddy’. Sobre la matriz reconstruida se generó una tractografía de cerebro entero, excluyendo fibras de longitud menor a 10 mm y mayores a 500 mm; se estableció un rango de Anisotropía Fraccional (AF) entre 0.2 y 1 que estableció que correspondían a la sustancia blanca. Se utilizó un método de interpolación no lineal debido a su mayor adecuación en tanto modelo de capacidad predictiva sobre las variables que rellenan los valores de voxels por métodos de regresión. Se chequearon las imágenes ‘outliers’ mediante la herramienta ‘check data quality’, que comprende la media y los intervalos de confianza de cada una de las 65 imágenes y la matriz de covarianza entre cada una respecto a una adquisición específica (por ejemplo, la número 32).

Cálculo de los Tensores de Difusión.

Las imágenes con ponderación de difusión se adquieren a partir de la captación de las señales magnéticas que emiten los movimientos brownianos de las moléculas de agua dentro de la sustancia blanca. Para el cálculo de la difusión específica de las moléculas de agua dentro de los tractos de interés se aplicó la lógica de tensores matriciales, por lo que se obtuvieron medidas de AF (Lochner et al., 2012). El cálculo de los Tensores de Difusión (TD) fue utilizado para conocer el nivel de predicción que los tractos de sustancia blanca siguiendo la estandarización de Catani & Thiebaut de Schotten (2008) tienen sobre el rendimiento en la tarea CES-E. Mientras más anisotrópicos resultan los valores del tensor para cada tracto, mayor se considera la integridad y la conductividad nerviosa de las fibras (Bosch et al., 2012), aunque esto tiene sus reservas y situaciones específicas donde no es así (Reijmer et al., 2012). La AF significa la falta de isotropía (iso= igual, tropos= movimiento) en los desplazamientos del agua mediante el trazado de tres vectores ortogonales (λ_1 , λ_2 y λ_3) que permiten graficar los movimientos del agua en forma elipsoide (Jones & Leemans, 2011). La AF aumenta cuando el vector que corre en dirección similar a la fibra-objetivo (λ_1) tiene primacía sobre los otros dos vectores. Existen diferentes formas de calcular la AF pero los principios no varían: se trata de la primacía fraccional de λ_1 sobre λ_2 y λ_3 (Kiuchi et al., 2009; Leemans et al., 2009; Soares, Marques, Alves, & Sousa, 2013). Para la detección de los desplazamientos de las moléculas de agua en la sustancia blanca se utilizan

secuencias específicas de resonancia magnética. Éstas se caracterizan por la emisión de pulsos de radiofrecuencia con tiempos de repetición prolongados sobre la antena receptora. Existen evidencias de que a mayor AF se corresponde una mayor conectividad funcional con un mejor desempeño conductual durante procesos cognitivos (de Zubicaray et al., 2011). Las situaciones de excepción corresponden en especial a voxels donde se cruzan fibras, para lo cual resulta muy útil el uso de deconvoluciones esféricas. Sin embargo, este algoritmo suponía un β -valor mayor del factible para el estado en ese momento del equipo resonador utilizado.

Análisis por Regiones de Interés (RDI).

Luego de generar la tractografía de cerebro entero, se realizó un análisis por Regiones de Interés (RDI) con el objetivo de aislar grupos de fibras específicos (fascículos). Se utilizaron RDI con conectores lógicos booleanos (Leemans et al., 2009): los operadores fueron AND para incluir fibras en el análisis, NOT para excluir y SEED para insertar valores booleanos OR. Cada análisis de RDI se realizó en cada uno de los dos hemisferios cerebrales sobre la tractografía de cada participante. Para ubicar las RDI sobre la matriz reconstruida, se utilizó como referencia el atlas de Catani & Thiebaut de Schotten (2008), que especifica las coordenadas del Instituto Nacional de Montreal (MNI) para el Fascículo Uncinado (FU), el Fascículo Fronto Occipital Inferior (FFOI), y el Fascículo Cingulado (FC). Como el FU conecta regiones de la corteza prefrontal ventral y orbital con zonas mediales del sistema límbico y regiones anteriores del lóbulo temporal se utilizaron dos RDI AND coronales para su disección: una en la zona orbito-frontal y una en la zona temporal anterior. Posteriormente el FU fue dividido en sus porciones dorsal y ventral (Von Der Heide, Skipper, Klobusicky, & Olson, 2013), mediante la herramienta ‘splitter tool’ de ExploreDTI, colocando una RDI SEED axial para su división. El FFOI conecta la corteza orbito-frontal con zonas posteriores occipitales, entonces para su disección se utilizaron dos RDI AND coronales: una en la zona orbito-frontal y otra en la zona occipital posterior. El FC se ubica encima de la corteza cingulada y conecta regiones orbito-frontales, frontales mediales, parietales posteriores y occipitales, y luego desciende hacia el lóbulo temporal. Para su disección se utilizaron dos RDI AND coronales, una en la zona prefrontal medial y otra en la zona parietal anterior. Fue dividido en sus porciones anterior, media y posterior, mediante las herramientas ‘splitter tool’ (porción anterior y posterior) y ‘segment only’ (porción media) de ExploreDTI (Gong et al., 2005; Kiuchi et al., 2009).

El Fascículo Arqueado (FA) fue diseccionado teniendo en cuenta específicamente la conexión entre la corteza prefrontal posterior y las regiones temporales posteriores según Martino et al. (2013), y considerado Arqueado horizontal y vertical por Makris et al. (2005). Se utilizaron dos RDI AND para su disección: una coronal en la región prefrontal posterior, y una sagital en la región temporal medial. El Fascículo Longitudinal Superior (FLS) fue considerado según el conjunto de fibras propuesto como segmento anterior del FLS por Martino et al. (2013), que comprendería las porciones FLS II y FLS III de la división propuesta por Thiebaut de Schotten et al. (2011). Se utilizaron dos RDI AND sagitales para su disección; uno en la región prefrontal posterior y otro en la región parietal posterior. En este estudio no se realizó la división en las porciones I, II, y III, debido a que sólo es posible obtener esta división mediante la mencionada reconstrucción con deconvoluciones esféricas, y para ello es necesario utilizar un campo magnético con un valor β en unidades s/mm^2 superior al de este estudio (por ejemplo $2000 s/mm^2$) (Thiebaut de Schotten et al., 2011), o bien mejorar la relación ‘signal to noise’. De cada fascículo, se extrajo el valor de la AF con su respectiva DS. La Figura 1 muestra los fascículos de interés utilizados en este estudio.

Instrumentos

Tarea de Control Ejecutivo Semántico – Emocional (CES-E): antecedentes

El diseño de la tarea CES-E (Marino et al., 2015) se basó en el formato de la tarea CES- clásica de Badre, Poldrack, Paré-Blagoev, Insler, & Wagner (2005), manipulando la Distancia Semántica entre la palabra clave y la palabra correcta (*target*) cercana o lejana. Los valores dimensionales afectivos de las palabras (palabra clave, palabra correcta y opciones incorrectas de cada ensayo) se obtuvieron de las bases de Redondo, Fraga, Padrón, & Comesaña (2007) y Pérez, Acosta, Megías, & Lupiáñez (2010).

Para el establecimiento de las distancias semánticas, se utilizaron índices de diccionarios semánticos realizados mediante el método de evocación libre (Fernández, Díez, & Alonso, 2010; Luna, Marino, Silva, & Acosta, 2016). Se clasificaron las distancias semánticas entre palabra clave - palabra correcta según la frecuencia relativa de evocaciones del palabra correcta ante la presentación de la palabra clave. Se consideraron distancias cercanas aquellas con una frecuencia relativa entre .15 y .50, y distancias lejanas aquellas con una frecuencia relativa entre .02 y .05. Considerando que había datos faltantes, ya que algunas palabras seleccionadas de las bases

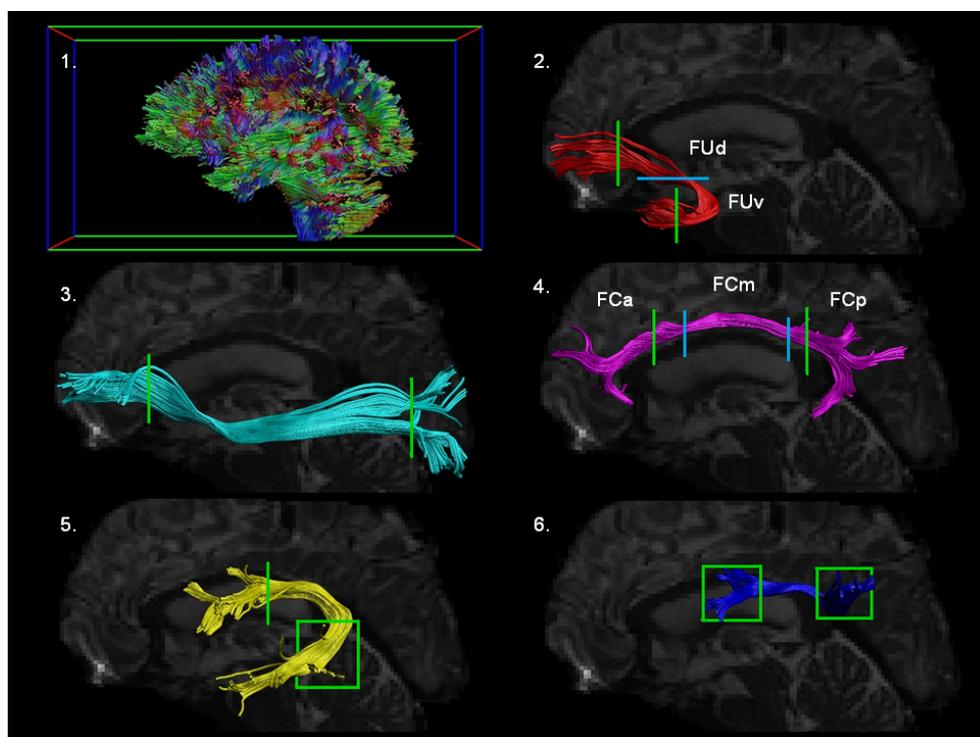


Figura 1. Ejemplos de reconstrucciones sobre espacio nativo en software ExploreDTI. Todas las imágenes se observan en vista sagital, con orientación radiológica, hemisferio derecho. Imagen 1: reconstrucción de tractografía de cerebro entero. Las líneas horizontales y verticales muestran el color de codificación de la dirección de las fibras reconstruidas: en verde las fibras con dirección antero-posterior, en rojo con dirección izquierda-derecha, y en azul con dirección dorsal-ventral. En las imágenes 2 a 6 se observan, sobre una matriz sin pesos de difusión, las RDI utilizadas para la disección y división de fascículos: en verde, las RDI AND de inclusión de fibras, y en celeste, las RDI SEED utilizadas posteriormente para división. Imagen 2: Fascículo Uncinado, y sus porciones dorsal (FUd) y ventral (FUv). Imagen 3: Fascículo Fronto Occipital Inferior. Imagen 4: Fascículo Cingulado y sus porciones anterior (FCa), medio (FCm) y posterior (FCp). Imagen 5: Fascículo Arqueado. Imagen 6: Fascículo Longitudinal Superior. Los colores de los fascículos en las imágenes 2 a 6 fueron asignados al azar para su visualización y diferenciación.

de Redondo et al. (2007) y Pérez et al. (2010) no se encontraban en los diccionarios consultados, se utilizó un método de 'inducción de distancias semánticas' mediante el cual se preguntó a jueces expertos sobre la distancia de ciertas palabras ante una palabra clave, en una escala 'Lickert' de 1 a 9. Se propusieron ítems (palabra clave, palabra correcta y opciones incorrectas) utilizando las palabras seleccionadas de las bases de Redondo et al. (2007) y Pérez et al. (2010). Luego, a cada palabra clave se le agregó una opción de respuesta extrema superior (considerada como Distancia Semántica muy cercana) y una opción extrema inferior (considerada como Distancia Semántica muy lejana) con el objetivo de establecer un rango para la evaluación de la distancias semánticas. Cada palabra clave con sus 5 opciones de respuesta se le presentó a 40 sujetos considerados jueces expertos (32 ítems a cada sujeto; 20 personas con estudios de ciencias humanas y 20 personas con estudios de ciencias 'duras'). Con los valores obtenidos se realizó un ANOVA de medidas repetidas con comparación de medias por cada ítem. Se utilizó la media establecida para el palabra correcta y cada distractor, y la diferencia entre la palabra correcta y las opciones incorrectas y entre las opciones incorrectas entre sí (teniendo en cuenta el nivel de significación: $\leq .01$; $\leq .05$; ó $> .05$). Según la comparación de medias entre el palabra correcta y las opciones incorrectas, los ítems se clasificaron en distancias semánticas cercanas o lejanas, y según la comparación de medias entre las opciones incorrectas, se estableció qué opción incorrecta estuvo más cercana a la palabra clave (quedando clasificadas como opción incorrecta 1 y opción incorrecta 2).

Tarea CES-E: diseño final

Para la construcción de los ensayos que tenían palabras estímulo con valencia positiva o negativa, se utilizó un diseño '*cross tasking*' de 8 condiciones teniendo en cuenta tres factores, con dos niveles en cada factor (2x2x2): Distancia Semántica entre palabra clave y palabra correcta (cercana o lejana), congruencia afectiva (según la valencia) entre la palabra clave y la palabra correcta (congruente o incongruente), y congruencia afectiva (según la valencia) entre la palabra correcta y las opciones incorrectas (congruente o incongruente). Se diseñaron 16 ítems para cada una de las 8 condiciones del diseño, resultando en un total de 128 ensayos. En cada una de las 8 condiciones, los 16 ítems se dividieron en 8 ítems con palabra clave positiva y 8 ítems con palabra clave negativa, para equilibrar las presentaciones. Se agregaron 64 ensayos con interferencia emocional neutra (palabra clave, palabra correcta y opciones incorrectas con valencia neutra), los cuales fueron diseñados según la Distancia Semántica entre

palabra clave - palabra correcta: 32 presentaron Distancia Semántica cercana entre palabra clave y palabra correcta, y 32 Distancia Semántica lejana entre palabra clave y palabra correcta.

El diseño global de la Tarea CES-E considerando los ensayos con valencia afectiva positiva, negativa, y neutra, tuvo 192 ensayos que para su posterior análisis se categorizaron en dos factores generales, con tres niveles en el primero y dos en el segundo (3x2, seis condiciones de ensayos del diseño global): congruencia afectiva entre palabra clave y palabra correcta (congruente, incongruente o neutra) y Distancia Semántica entre palabra clave y palabra correcta (cercana o lejana). Cada una de las seis condiciones fue compuesta por 32 ensayos.

Índices de la Tarea CES-E

Adicionalmente, para medir con mayor precisión las respuestas y su significado se construyeron índices de rendimiento (ver Tabla 1) que evaluaron medidas más sutiles en los distintos tipos de ensayos.

Análisis de datos

Se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson de cada medida de rendimiento con la AF de los tractos que fueron diseccionados. La elección de presentar coeficientes de correlación se justifica porque se busca conocer la asociación entre las medidas de la tarea CES-E y la conectividad de los tractos. Entre estos existe una alta colinealidad (Catani & Thiebaut de Schotten, 2008; Jeurissen, Leemans, Jones, Tournier, & Sijbers, 2011), en ese caso un modelo de regresión eliminaría del modelo fibras de elevada asociación entre sí, lo que no tendría ningún valor teórico (Penke & Deary, 2010). Si se eliminarían los tractos altamente correlacionados, como los bihemisféricos, se crearía un artificio, un tracto aparecería como no relacionado con la tarea, sin embargo eso no sería correcto. En cambio la presentación de correlaciones evita la jerarquización de las asociaciones que tienen los métodos de eliminación jerárquica sustentados por el índice de cambio de R^2 . Existen antecedentes de presentación de coeficientes de correlación de Pearson (fuerza y significación de la relación) en estudios de este tipo. Por ejemplo, de Zubicaray et al. (2011) realizaron una investigación sobre la conectividad cerebral de las fibras del sistema nervioso central y publicaron su correlación con tareas variadas de memoria semántica.

Tabla 1. Índices de la tarea CES-E, ecuaciones para calcularlos y utilidad de cada uno.

Índice	Ecuación Utilidad
IPI	$= \sqrt{\text{Inc} / \text{Con}}$ Mide el monto de influencia que tiene la condición incongruente sobre la condición congruente en función del rendimiento eficaz.
IPD	$= \sqrt{\text{DS lejana (ensayos afectivos)} / \text{DS cercana (ensayos afectivos)}}$ Mide de qué manera afecta el rendimiento la DS lejana entre la palabra clave y la palabra correcta en proporción a su rendimiento cuando las DS son cercanas.
IPDN	$= \sqrt{\text{DS lejana (ensayos neutros)} / \text{DS cercana (ensayos neutros)}}$ Es un índice 'puro' de DS, sin interferencia de los eventos emocionalmente cargados.
IPPI	$= \sqrt{\text{Inc} / \text{Neu} / \text{Con}}$ Tiene en cuenta las tres condiciones de la tarea CES-E, en una escala de menor a mayor conflicto. Se diferencia del IPI porque incluye los ensayos de afectividad neutral.
IGRPe	$= [(1 - \text{IPI}) + (1 - \text{IPD})]$ Un valor negativo en IGRPe refleja que se obtuvo un rendimiento inesperado, con mayores aciertos en las condiciones más difíciles: de afectividad Inc, y/o de DS lejana.
C'	$= \{(-1) * [1 - (\sqrt{\text{Con} / \text{Neu} / \text{Inc}})] + (-1) * [1 - (\sqrt{\text{DS cercana} / \text{DS lejana}})]\} + 1$ Pondera el aprovechamiento de las condiciones más fáciles para mejorar el rendimiento. A mayor valor de C', mayor beneficio de la afectividad Con y DS cercana.
CES'	$= [(\text{aciertos globales} + 1) - C']$ Ajusta el rendimiento global en función de cuanto se aprovechó de los beneficios de las condiciones fáciles.

Nota: abreviaciones de índices, IPI = Índice de Perturbación por Incongruencias; IPD = Índice de Perturbación por Distancias; IPDN= Índice de Perturbación por Distancias ensayos Neutros; IPPI = Índice de Perturbación Ponderada por Incongruencia; IGRPe = Índice de General de Rendimiento Ponderado por eficacia; C' = Índice C prima; CES' = Índice CES prima. Abreviaciones de elementos de las ecuaciones, Inc = Incongruente; Con = Congruente; Neu = Neutral; DS = Distancia Semántica.

La disección de trectos y los consecuentes valores de AF fueron obtenidos mediante el método de segmentación por expertos, entre los que se obtuvo una correlación (tres jueces) superior a $r = .900$, $p < .001$, considerado altamente satisfactorio. Se calcularon las medias (porcentaje de respuestas correctas) de rendimiento global y las condiciones del diseño general de la tarea CES-E.

RESULTADOS

Análisis descriptivo y de varianza en CES-E

Para analizar el rendimiento conductual en la tarea CES-E, la medida de interés fue la exactitud de la respuesta, debido a que los tiempos de reacción tenían valores considerados muy elevados con una varianza demasiado elevada, los tiempos de reacción con palabras reflejan un tipo de procesamiento cognitivo- semántico que no podía ser considerada una medida fiable ($M= 2745$ ms, $ds= 906$). La comparación de la potencia de la media con la exactitud de la respuesta ($M= .915$, $ds = .035$) revela claramente lo antedicho.

Se realizó un análisis de varianza de medidas repetidas (intrasujetos) ingresando dos factores de la tarea CES-E (2×3): El primer factor fue la Distancia Semántica (DS), con dos niveles (cercana o lejana), y el segundo factor fue la Afectividad, con tres niveles (congruente, incongruente, neutral). Se encontró un efecto principal de ambos factores, tanto de la DS [$F(1, 31) = 59,546$ $p < .001$ $\eta^2 = .658$], como Afectividad [$F(2, 30) = 34,852$ $p < .001$ $\eta^2 = .529$]. Además, se observó una interacción de interés entre la DS y la Afectividad [$F(1, 31) = 14,733$ $p = .001$ $\eta^2 = .322$]. Las medias descriptivas de las seis condiciones generadas por los niveles de cada factor se observan en la Figura 2. Los descriptivos indicaron que la interacción se produjo porque a la condición de congruencia afectiva no le afectó la DS, mientras que las otras dos condiciones se vieron afectadas de forma potente por la DS, decreciendo la eficacia con la DS lejana, en la misma proporción.

Índices específicos del rendimiento en la tarea CES-E

La Tabla 2 muestra los estadísticos descriptivos de los índices propuestos para el análisis conductual del rendimiento en la tarea CES-E y que mide cada uno de estos índices.

Conectividad cerebral mediante Anisotropía Fraccional de fascículos de sustancia blanca

La media y desviación estándar de la AF de cada fascículo de interés se presenta en la Tabla 3.

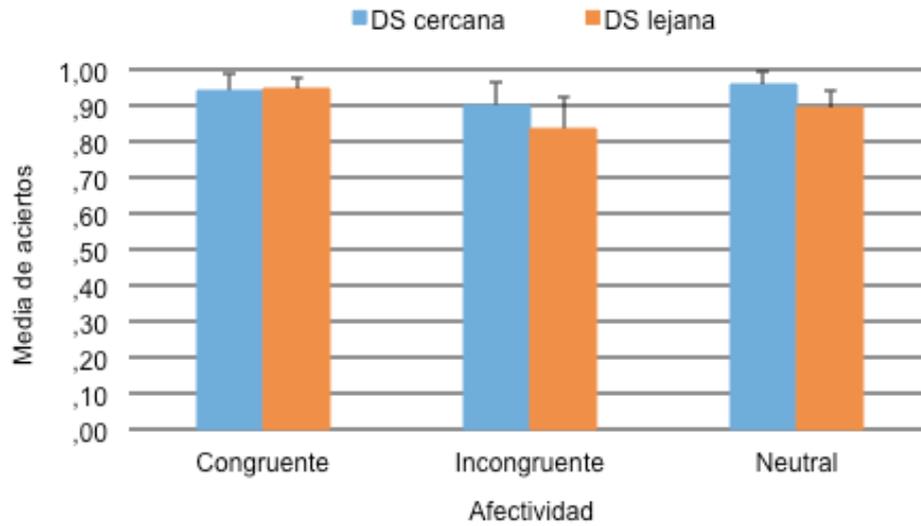


Figura 2. Medias y desviación estándar de las condiciones globales de la tarea CES-E según los factores Distancia semántica y Afectividad.
Nota: las barras de error representan la desviación estándar de la media en sentido ascendente. DS = Distancia Semántica.

Tabla 2. Medias y desviación estándar de los índices específicos de rendimiento en la tarea CES-E.

Índice	Media	Desviación Estándar
IPI	.921	.064
IPD	.955	.034
IPDN	.933	.053
IPPI	.705	.024
IGRPe	.111	.088
C'	.897	.199
CES'	.803	.111

Nota: exactitud = porcentaje de aciertos, IPI = Índice de Perturbación por Incongruencias; IPD = Índice de Perturbación por Distancias; IPDN= Índice de Perturbación por Distancias ensayos Neutros; IPPI = Índice de Perturbación Ponderada por Incongruencia; IGRPe = Índice de General de Rendimiento Ponderado por eficacia; C' = Índice C prima; CES' = Índice CES prima.

Tabla 3. Medias y desviación estándar de la anisotropía fraccional de los fascículos de interés.

Fascículo	Porción	Hemisferio izquierdo		Hemisferio derecho	
		Media	Desviación Estándar	Media	Desviación Estándar
Uncinado	dorsal	.447	.021	.457	.018
	ventral	.449	.019	.454	.024
Fronto Occipital Inferior		.515	.017	.526	.021
Cingulado	anterior	.510	.040	.455	.033
	medio	.583	.051	.556	.053
	posterior	.462	.031	.455	.042
Arqueado		.492	.018	.511	.022
Longitudinal Superior		.487	.021	.476	.022

Relación entre conectividad cerebral y rendimiento en CES-E

Se obtuvieron correlaciones de interés entre las condiciones del diseño global de la tarea CES-E y la AF de los fascículos diseccionados en este estudio. El FFOI izquierdo tuvo un rol preponderante en los análisis realizados, y su AF se relacionó de modo significativo con cuatro condiciones de la tarea CES-E. En dos condiciones se relacionó de forma positiva: Distancia cercana – Afectividad incongruente ($r = .289$, $p < .05$), y Distancia cercana – Afectividad neutra ($r = .301$, $p < .05$). En las restantes dos condiciones se observaron relaciones de tipo negativas: Distancia lejana – Afectividad incongruente ($r = -.321$, $p < .05$) y Distancia lejana – Afectividad neutra ($r = -.300$, $p < .05$).

La condición Distancia lejana – Afectividad congruente correlacionó de forma negativa con el FLS izquierdo ($r = -.336$, $p < .05$) y el FLS derecho ($r = -.311$, $p < .05$). En la condición Distancia cercana – Afectividad congruente se observaron tres relaciones de tipo negativas: con el FU dorsal izquierdo ($r = -.336$, $p < .05$), el FC posterior derecho ($r = -.318$, $p < .05$), y el FC medio derecho ($r = -.298$, $p < .05$).

En cuanto a los índices de rendimiento de la tarea CES-E y la AF de los tractos de interés, el índice IPI se relacionó con la AF del FFOI izquierdo ($r = .405$, $p < .01$) y la AF del FA izquierdo ($r = .399$, $p < .01$). El IPD se relacionó con la AF del FA derecho ($r = .341$, $p < .05$), y con el FC derecho en su porción media ($r = .366$, $p < .05$), y posterior ($r = .322$, $p < .05$). El índice IPPI obtuvo una correlación positiva con la AF del FA izquierdo

($r = .367$, $p < .05$), mientras que el índice IGRPe se relacionó de manera negativa con el FFOI izquierdo ($r = -.401$, $p < .01$) y con el FA derecho ($r = -.409$, $p < .01$). Por último, el índice CES' se relacionó de manera positiva con el FFOI izquierdo ($r = .416$, $p < .01$) y con el FA derecho ($r = .365$, $p < .05$). No se obtuvieron correlaciones que superen el umbral de significación con el rendimiento global de la tarea CES-E ni con los otros índices de rendimiento construidos para el análisis conductual.

DISCUSIÓN

En este trabajo se estudió la red neuronal asociada a la SPE mediante imágenes con ponderación de difusión y posterior cálculo de los tensores de difusión. Se aplicaron 64 direcciones de gradiente, lo que resultó significativo, ya que la mayor cantidad de direcciones permite mayor sensibilidad ante la difusión target. La SPE se midió con la tarea CES-E con estímulos de alta carga afectiva (positiva y negativa) y neutrales, para poder comparar la solución ante problemas semánticos que presentó el impacto afectivo de las congruencias e incongruencias emocionales (Marino et al., 2015).

La red neuronal se estudió mediante la AF de cinco fascículos de sustancia blanca de interés, que fueron diseccionados virtualmente *off line* tanto en el hemisferio derecho como en el hemisferio izquierdo, algunos de ellos divididos en porciones por razones funcionales conceptuales. Los resultados obtenidos permiten proponer en primera instancia una red neurocognitiva de SPE formada principalmente por conexiones orbito-frontales, prefrontales posteriores, temporales y occipitales, lateralizada al hemisferio izquierdo, en la que participarían principalmente el FFOI y el FA.

El dato más potente de relación entre la AF de los tractos de sustancia blanca y las medidas obtenidas del análisis conductual de la tarea CES-E fue la correlación positiva significativa entre el índice IPI con el FFOI izquierdo y el FA izquierdo. Estos tractos tienen estrecha relación con el uso ejecutivo del lenguaje. Esto fue relevante, porque coincide con las redes neuronales propuestas para el mecanismo de reevaluación. Este último es un mecanismo cognitivo-semántico de regulación emocional, se considera el más exigente y saludable de los mecanismos estudiados (Buhle et al., 2013).

El conocimiento de la red neuronal de SPE tendría similitudes con la reevaluación, aunque se escogieron estímulos semánticos justamente para indagar sobre esa posible superposición. El valor de IPI demostró cómo disminuye el impacto en la resolución de las incongruencias afectivas

respecto a la resolución de las congruencias afectivas. Las estrategias desarrolladas para disminuir el impacto de las incongruencias afectivas estarían ligadas a conectividades neuronales (FFOI y FA izquierdo) también asociadas a procesos de lectura y recuperación semántica (Bernal & Ardila, 2009; Catani & Thiebaut de Schotten, 2008; Makris et al., 2005; Martino et al., 2013). En este sentido, la relación entre SPE y reevaluación sería estrecha. Teniendo en cuenta las estrategias cognitivas que implica la SPE, este mecanismo analiza un espacio donde se presenta un problema con una alta carga afectiva que busca alcanzar metas ‘enfriando’ la situación en términos emocionales (Aldao et al., 2010; Beck et al., 1983; Kanske et al., 2011). En este caso, serían estrategias de procesos de lectura y recuperación semántica implementadas por el FFOI izquierdo y FA izquierdo respectivamente.

La diferencia notable con el mecanismo de reevaluación es que este depende de un recuerdo, en general traumático (trastorno por estrés postraumático) o de alto contenido afectivo, en su mayoría negativo. La reevaluación busca una reinterpretación para modificar una valencia afectiva, mientras que la SPE afronta una situación novedosa tratándola como un espacio de problemas donde los afectos forman parte.

Entonces es necesario tener en consideración la naturaleza del espacio del problema. En este caso, se trataba de un espacio semántico (Barrett et al., 2007; Patterson, Nestor, & Rogers, 2007), por lo tanto, las restricciones, las reglas y los movimientos posibles se realizaron con palabras. Fue movilizada una red de resolución que está altamente vinculada al análisis de los procesos semánticos (Thiebaut de Schotten, Cohen, Amemiya, Braga, & Dehaene, 2014), pero habría que estudiar si la SPE sin estímulos semánticos tendría las coincidencias que presentó con la reevaluación, que tiene características cognitivo-semánticas asentadas en la literatura por numerosas investigaciones. Una limitación de este estudio es que sería esperable que haya una especificidad en la SPE de acuerdo a la estructura del espacio del problema, aunque la elección de estímulos semántico fue deliberada, intencional, justamente para conocer la superposición finalmente hallada con la red neuronal que soporta la reevaluación. La limitación indicó que la red encontrada sería generalizable a espacios vinculados con estímulos semánticos, pero no necesariamente con toda tarea de SPE. Cabe considerar que en la actualidad la SPE puramente semántica tiene notable impacto porque gran parte de las interacciones se caracterizan por presentaciones de palabras (redes sociales, correos electrónicos) (Niedenthal et al., 2005), sin la interfaz evolutivamente diseñada para reconocer, interpretar y reaccionar ante emociones que se manifiestan de cuerpo presente. Las personas infieren emociones de la

lectura y escritura en formatos evolutivamente recientes y esto acarrea dificultades en las relaciones interpersonales en la vida diaria.

Con respecto al control inhibitorio, se encontraron relaciones significativas entre la corteza cingulada media y el rendimiento en el IPD, que mide la capacidad de la persona para que una distancia lejana no le afecte en su rendimiento. El control inhibitorio resulta crucial en la Supresión, y no es casualidad que la porción asociada sea la media, que está conectada con los tractos del lenguaje. En las pruebas no semánticas es frecuente encontrar asociación entre la corteza cingulada anterior y la capacidad inhibitoria. Estos resultados provisionales podrían indicar que hay una supresión afectiva en la SPE medida con la CES-E. La relación se encontró en el hemisferio derecho, que fue vinculado con las redes atencionales de orientación y alerta (Roca, Castro, López-Ramón, & Lupiáñez, 2011). De forma especulativa, se podría ejercer una estrategia de regulación atencional como la supresión usando tractos del hemisferio derecho, y una red de regulación lingüística usando el hemisferio izquierdo. Este sería el modelo que más parsimonia y elegancia tendría de la SPE en contextos semánticos.

Cuando la afectividad fue congruente el FFOI y el FA no tuvieron relación, esto puede deberse a que el espacio del problema se vuelve más 'sencillo' o 'simplificado', donde no hay conflictos potentes como en las incongruencias. En los resultados exclusivamente conductuales la congruencia afectiva muestra una facilitación para el rendimiento en comparación con la neutralidad afectiva de los estímulos.

La presencia de relaciones significativas de signo negativo (FLS izquierdo y derecho, FU dorsal izquierdo, y porciones del FC), puede deberse a que no son conexiones implicadas en la resolución de la tarea CES-E, o que para su resolución son conexiones que tienen que mantenerse inactivas. Correspondieron a condiciones 'fáciles', se trataba de condiciones congruentes entre la palabra clave y la palabra correcta. Esto puede responderse con estudios de resonancia magnética funcional. Las relaciones negativas significativas se observaron entre el FFOI izquierdo y la condición de distancia semántica lejana entre la palabra clave y la palabra correcta.

De esta manera, la red neuronal principal de SPE estaría conformada principalmente por el FFOI izquierdo con un fuerte soporte del FA izquierdo para la disminución del impacto afectivo mediante estrategias de resolución 'más frías', siempre extendiendo estas conclusiones a un espacio de problemas de carácter léxico-semántico.

En futuras investigaciones, se observará si la red SPE semántica propuesta, con notable implicancia del FFOI y FA izquierdo, se vinculan a la claridad emocional para procesar mensajes electrónicos sin interface visual. Se agregarán fascículos de interés, por ejemplo el fórnix y la cápsula interna (Catani & Thiebaut de Schotten, 2008), para contrastar si se han dejado de lado tractos cruciales en la explicación de esta novedosa tarea conductual para medir SPE.

Entre las principales limitaciones de este estudio se encuentran haber trabajado solo con participantes mujeres, haber utilizado un tensor de difusiones y no deconvoluciones esféricas y el carácter semántico-léxico del espacio de solución de problemas, todos estos aspectos invitan a ser cautos en la interpretación de los resultados. La elegancia y la parsimonia del modelo de red neuronal lingüística del hemisferio izquierdo y de estrategias atencionales inhibitorias para el hemisferio derecho tienen su atractivo. Pero su validez requiere de mayor cantidad de experimentación para aumentar su plausibilidad.

ABSTRACT

Brain Connectivity in Emotional Regulation: The Emotional Solving Problems. Emotional solving problems is an emotional regulation mechanism that implements cognitive-linguistics strategies to reduce the affective impact in a situation and to accomplish a proposed objective. Together with the reappraisal, it is considered a healthy mechanism, in difference with suppression and rumination. Researches that have used neuroimaging techniques have proposed cerebral areas associated to the functioning of the different emotional regulation mechanisms. The objective of this research was to study the brain connectivity gradients of white matter associated to emotional solving problems, to propose a brain connectivity network of this emotional regulation mechanism. The efficacy of emotional solving problems was measured with a behavioral task recently developed, based on semantic effortful retrieval with high affective impact stimulus. 32 young women (M= 24,34; DS=5,24) participated of the study. Correlations of Pearson were performed between accuracy measures of the behavioral task and fractional anisotropy of the white matter fascicles of interest. The results propose a brain connectivity network of emotional solving problems with the main participation of the Arcuate and Fronto Occipital Inferior fascicles of left hemisphere, both crucial in the implementation of lexical and semantic strategies to the reduction of affective impact.

REFERENCIAS

- Aldao, A., Nolen-Hoeksema, S., & Schweizer, S. (2010). Emotion-regulation strategies across psychopathology: A meta-analytic review. *Clinical Psychology Review*, *30*(2), 217–237. <http://doi.org/10.1016/j.cpr.2009.11.004>
- Badre, D., Poldrack, R. A., Paré-Blagoev, E. J., Insler, R. Z., & Wagner, A. D. (2005). Dissociable controlled retrieval and generalized selection mechanisms in ventrolateral prefrontal cortex. *Neuron*, *47*(6), 907–918. <http://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.07.023>
- Badre, D., & Wagner, A. D. (2007). Left ventrolateral prefrontal cortex and the cognitive control of memory. *Neuropsychologia*, *45*(13), 2883–2901. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.06.015>
- Barrett, L. F., Lindquist, K. A., & Gendron, M. (2007). Language as context for the perception of emotion. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(8), 327–332. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2007.06.003>
- Beck, A. T., Rush, J., Shaw, B., & Emery, G. (1983). *Terapia cognitiva de la depresión*. Bilbao: Desclée de Brouwer.
- Bernal, B., & Altman, N. (2010). The connectivity of the superior longitudinal fasciculus: a tractography DTI study. *Magnetic Resonance Imaging*, *28*(2), 217–225. <http://doi.org/10.1016/j.mri.2009.07.008>
- Bernal, B., & Ardila, A. (2009). The role of the arcuate fasciculus in conduction aphasia. *Brain: A Journal of Neurology*, *132* (Pt 9), 2309–2316. <http://doi.org/10.1093/brain/awp206>
- Bosch, B., Arenaza-Urquijo, E. M., Rami, L., Sala-Llonch, R., Junqué, C., Solé-Padullés, C., ... Bartrés-Faz, D. (2012). Multiple DTI index analysis in normal aging, amnesic MCI and AD. Relationship with neuropsychological performance. *Neurobiology of Aging*, *33*(1), 61–74. <http://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2010.02.004>
- Botvinick, M. M. (2008). Hierarchical models of behavior and prefrontal function. *Trends in Cognitive Sciences*, *12*(5), 201–8. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2008.02.009>
- Botvinick, M. M., Cohen, J. D., & Carter, C. S. (2004). Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(12), 539–546. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2004.10.003>
- Buhle, J. T., Silvers, J. A., Wager, T. D., Lopez, R., Onyemekwu, C., Kober, H., ... Ochsner, K. N. (2013). Cognitive reappraisal of emotion: a meta-analysis of human neuroimaging studies. *Cerebral Cortex*, bht154. <http://doi.org/10.1093/cercor/bht154>
- Catani, M., & Thiebaut de Schotten, M. (2008). A diffusion tensor imaging tractography atlas for virtual in vivo dissections. *Cortex*, *44*(8), 1105–1132. <http://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.05.004>
- De Zubicaray, G. I., Rose, S. E., & McMahon, K. L. (2011). The structure and connectivity of semantic memory in the healthy older adult brain. *NeuroImage*, *54*(2), 1488–1494. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.08.058>
- Disner, S. G., Beevers, C. G., Haigh, E. A. P., & Beck, A. T. (2011). Neural mechanisms of the cognitive model of depression. *Nat Rev Neurosci*, *12*(8), 467–477. <http://doi.org/10.1038/nrn3027>
- Eluvathingal, T. J., Chugani, H. T., Behen, M. E., Juhász, C., Muzik, O., Maqbool, M., ... Makki, M. (2006). Abnormal brain connectivity in children after early severe

- socioemotional deprivation: a diffusion tensor imaging study. *Pediatrics*, 117(6), 2093–2100. <http://doi.org/10.1542/peds.2005-1727>
- Fernández, A., Díez, E., & Alonso, M. A. (2010). Normas de Asociación libre en castellano de la Universidad de Salamanca [Base de datos online]. Retrieved from www.usal.es/gimc/nalc
- Funes, M. J., & Lupiáñez, J. (2003). La teoría atencional de Posner: una tarea para medir las funciones atencionales de Orientación, Alerta y Control Cognitivo y la interacción entre ellas. *Psicothema*, 15(2), 260–266.
- Goldin, P. R., McRae, K., Ramel, W., & Gross, J. J. (2008). The neural bases of emotion regulation: reappraisal and suppression of negative emotion. *Biological Psychiatry*, 63(6), 577–86. <http://doi.org/10.1016/j.biopsych.2007.05.031>
- Gong, G., Jiang, T., Zhu, C., Zang, Y., Wang, F., Xie, S., ... Guo, X. (2005). Asymmetry analysis of cingulum based on scale-invariant parameterization by diffusion tensor imaging. *Human Brain Mapping*, 24(2), 92–8. <http://doi.org/10.1002/hbm.20072>
- Grant, P. M., & Beck, A. T. (2009). Defeatist Beliefs as a Mediator of Cognitive Impairment, Negative Symptoms, and Functioning in Schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*, 35 (4), 798–806. <http://doi.org/10.1093/schbul/sbn008>
- Hackman, D. A., & Farah, M. J. (2009). Socioeconomic status and the developing brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(2), 65–73. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2008.11.003>
- Hardill, I., & Mills, S. (2013). Enlivening evidence-based policy through embodiment and emotions. *Contemporary Social Science*, 8(3), 321–332. <http://doi.org/10.1080/21582041.2013.770909>
- Harvey, D. Y., Wei, T., Ellmore, T. M., Hamilton, a C., & Schnur, T. T. (2013). Neuropsychological evidence for the functional role of the uncinate fasciculus in semantic control. *Neuropsychologia*, 51(5), 789–801. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.01.028>
- Jefferies, E., Patterson, K., & Ralph, M. L. (2008). Deficits of knowledge versus executive control in semantic cognition: insights from cued naming. *Neuropsychologia*, 46(2), 649–658. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.09.007>
- Jeurissen, B., Leemans, A., Jones, D. K., Tournier, J.-D., & Sijbers, J. (2011). Probabilistic fiber tracking using the residual bootstrap with constrained spherical deconvolution. *Human Brain Mapping*, 32(3), 461–479. <http://doi.org/10.1002/hbm.21032>
- Jones, D. K., & Leemans, A. (2011). Diffusion tensor imaging. *Methods in Molecular Biology*, 711(2), 127–144. http://doi.org/10.1007/978-1-61737-992-5_6
- Kalisch, R. (2009). The functional neuroanatomy of reappraisal: time matters. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33(8), 1215–1226. <http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.06.003>
- Kanske, P., Heissler, J., Schönfelder, S., Bongers, A., & Wessa, M. (2011). How to regulate emotion? Neural networks for reappraisal and distraction. *Cerebral Cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 21(6), 1379–1388. <http://doi.org/10.1093/cercor/bhq216>
- Kiuchi, K., Morikawa, M., Taoka, T., Nagashima, T., Yamauchi, T., Makinodan, M., ... Kishimoto, T. (2009). Abnormalities of the uncinate fasciculus and posterior cingulate fasciculus in mild cognitive impairment and early Alzheimer's disease: a diffusion tensor tractography study. *Brain Research*, 1287, 184–191. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.06.052>
- Kumaran, D., Summerfield, J. J., Hassabis, D., & Maguire, E. A. (2009). Tracking the emergence of conceptual knowledge during human decision making. *Neuron*, 63(6), 889–901. <http://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.07.030>

- Leemans, A., Jeurissen, B., Sijbers, J., & Jones, D. K. (2009). ExploreDTI: A Graphical Toolbox for Processing, Analyzing, and Visualizing Diffusion MR Data. In *17th Annual Meeting of Intl Soc Mag Reson Med* (p. 3537). Hawaii, USA.
- Lochner, C., Fouché, J.-P., du Plessis, S., Spottiswoode, B., Seedat, S., Fineberg, N., ... Stein, D. J. (2012). Evidence for fractional anisotropy and mean diffusivity white matter abnormalities in the internal capsule and cingulum in patients with obsessive-compulsive disorder. *Journal of Psychiatry & Neuroscience*, *37*(3), 193–199. <http://doi.org/10.1503/jpn.110059>
- Luna, F. G., Marino, J., Silva, J. D., & Acosta, A. (2016). Normas de asociación léxica e índices psicolingüísticos de 407 palabras en español en una muestra latinoamericana. *Psicológica*, *37*(1), 1-14.
- Makris, N., Kennedy, D. N., McInerney, S., Sorensen, a G., Wang, R., Caviness, V. S., & Pandya, D. N. (2005). Segmentation of subcomponents within the superior longitudinal fascicle in humans: a quantitative, in vivo, DT-MRI study. *Cerebral Cortex*, *15*(6), 854–69. <http://doi.org/10.1093/cercor/bhh186>
- Marino, J., & Alderete, A. M. (2009). Variación de la actividad cognitiva en diferentes tipos de pruebas de fluidez verbal. *Revista Chilena de Neuropsicología*, *4*(2), 179–192.
- Marino, J., Luna, F. G., Leyva, M. Á., & Acosta, A. (2015). Una tarea conductual para medir Solución de Problemas Emocionales basada en el Control Ejecutivo Semántico. *Psicológica*, *36*(1), 69–98.
- Martino, J., De Witt Hamer, P. C., Berger, M. S., Lawton, M. T., Arnold, C. M., de Lucas, E. M., & Duffau, H. (2013). Analysis of the subcomponents and cortical terminations of the perisylvian superior longitudinal fasciculus: a fiber dissection and DTI tractography study. *Brain Structure & Function*, *218*(1), 105–121. <http://doi.org/10.1007/s00429-012-0386-5>
- Mauss, I. B., Cook, C. L., Cheng, J. Y. J., & Gross, J. J. (2007). Individual differences in cognitive reappraisal: experiential and physiological responses to an anger provocation. *International Journal of Psychophysiology*, *66*(2), 116–124. <http://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2007.03.017>
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Oxford: Prentice-Hall.
- Niedenthal, P. M., Barsalou, L. W., Winkielman, P., Krauth-Gruber, S., & Ric, F. (2005). Embodiment in attitudes, social perception, and emotion. *Personality and Social Psychology Review*, *9*(3), 184–211. http://doi.org/10.1207/s15327957pspr0903_1
- Noonan, K. A., Jefferies, E., Visser, M., & Ralph, M. A. L. (2013). Going beyond Inferior Prefrontal Involvement in Semantic Control: Evidence for the Additional Contribution of Dorsal Angular Gyrus and Posterior Middle Temporal Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *25*, 1824–1850. <http://doi.org/10.1162/jocn>
- Ochsner, K. N., Bunge, S. a, Gross, J. J., & Gabrieli, J. D. E. (2002). Rethinking feelings: an fMRI study of the cognitive regulation of emotion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*(8), 1215–1229. <http://doi.org/10.1162/089892902760807212>
- Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2005). The cognitive control of emotion. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*(5), 242–249. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2005.03.010>
- Patterson, K., Nestor, P. J., & Rogers, T. T. (2007). Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain. *Nature Reviews. Neuroscience*, *8*(12), 976–987. <http://doi.org/10.1038/nrn2277>
- Penke, L., & Deary, I. J. (2010). Some guidelines for structural equation modelling in cognitive neuroscience: the case of Charlton et al.'s study on white matter integrity

- and cognitive ageing. *Neurobiology of Aging*, 31(9), 1656–1660. <http://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2009.10.019>
- Pérez, C., Acosta, A., Megías, J. L., & Lupiáñez, J. (2010). Evaluación de las dimensiones de valencia, activación, frecuencia subjetiva de uso y relevancia para la ansiedad, la depresión y la ira de 238 sustantivos en una muestra universitaria. *Psicológica*, 31(2), 241–273.
- Redondo, J., Fraga, I., Padrón, I., & Comesaña, M. (2007). The Spanish adaptation of ANEW (affective norms for English words). *Behavior Research Methods*, 39(3), 600–605. <http://doi.org/10.3758/BF03193031>
- Reijmer, Y. D., Leemans, A., Heringa, S. M., Wielaard, I., Jeurissen, B., Koek, H. L., & Biessels, G. J. (2012). Improved sensitivity to cerebral white matter abnormalities in Alzheimer's disease with spherical deconvolution based tractography. *PLoS One*, 7(8), e44074. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0044074>
- Roca, J., Castro, C., López-Ramón, M. F., & Lupiáñez, J. (2011). Measuring vigilance while assessing the functioning of the three attentional networks: the ANTI-Vigilance task. *Journal of Neuroscience Methods*, 198(2), 312–324. <http://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2011.04.014>
- Rorty, R. (2013). Pragmatism, relativism, and irrationalism. *The American Philosophical Association Centennial Series*, 653–666. <http://doi.org/10.5840/apapa2013290>
- Scott, S. K., Leff, A. P., & Wise, R. J. . (2003). Going beyond the information given: a neural system supporting semantic interpretation. *NeuroImage*, 19(3), 870–876. [http://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00083-1](http://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00083-1)
- Soares, J. M., Marques, P., Alves, V., & Sousa, N. (2013). A hitchhiker's guide to diffusion tensor imaging. *Frontiers in Neuroscience*, 7, 31. <http://doi.org/10.3389/fnins.2013.00031>
- Soto, J. A., Perez, C. R., Kim, Y.-H., Lee, E. A., & Minnick, M. R. (2011). Is expressive suppression always associated with poorer psychological functioning? A cross-cultural comparison between European Americans and Hong Kong Chinese. *Emotion*, 11(6), 1450. <http://doi.org/10.1037/a0023340>
- Thiebaut de Schotten, M., Cohen, L., Amemiya, E., Braga, L. W., & Dehaene, S. (2014). Learning to read improves the structure of the arcuate fasciculus. *Cerebral Cortex*, 24(4), 989–995. <http://doi.org/10.1093/cercor/bhs383>
- Thiebaut de Schotten, M., Dell'Acqua, F., Forkel, S. J., Simmons, A., Vergani, F., Murphy, D. G. M., & Catani, M. (2011). A lateralized brain network for visuospatial attention. *Nature Neuroscience*, 14(10), 1245–1246. <http://doi.org/10.1038/nn.2905>
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211(4481), 453–458. <http://doi.org/10.1126/science.7455683>
- Villemarette-Pittman, N. R., Stanford, M. S., & Greve, K. W. (2003). Language and executive function in self-reported impulsive aggression. *Personality and Individual Differences*, 34(8), 1533–1544. [http://doi.org/10.1016/S0191-8869\(02\)00136-8](http://doi.org/10.1016/S0191-8869(02)00136-8)
- Von Der Heide, R. J., Skipper, L. M., Klobusicky, E., & Olson, I. R. (2013). Dissecting the uncinate fasciculus: disorders, controversies and a hypothesis. *Brain: A Journal of Neurology*, 136(6), 1692–1707. <http://doi.org/10.1093/brain/awt094>
- Whitney, C., Kirk, M., O'Sullivan, J., Lambon Ralph, M. A., & Jefferies, E. (2011). The neural organization of semantic control: TMS evidence for a Distributed Network in Left Inferior Frontal and Posterior Middle Temporal Gyrus. *Cerebral Cortex*, 21(5), 1066–1075. <http://doi.org/10.1093/cercor/bhq180>