

Neurociencia del
Pensamiento

9

Isabel Orenes Casanova

OBJETIVOS**1. INTRODUCCIÓN****2. TÉCNICAS DE LA NEUROCIENCIA DEL PENSAMIENTO**

- 2.1. Estudios de lesiones
- 2.2. Estudio funcional del cerebro: neurofisiología y neuroimagen

3. LESIÓN PREFRONTAL DERECHA/IZQUIERDA Y PENSAMIENTO

- 3.1. Tarea de la Torre de Hanói
- 3.2. Tarea financiera
- 3.3. Tarea de silogismos transitivos
- 3.4. Tarea de selección de Wason

4. BASES NEUROANATÓMICAS DEL PENSAMIENTO

- 4.1. Procesos heurísticos y analíticos del pensamiento
- 4.2. Curso temporal del pensamiento
- 4.3. Red cerebral del pensamiento

5. BASES NEUROANATÓMICAS DE LAS TEORÍAS DEL RAZONAMIENTO**6. BASES NEUROANATÓMICAS DEL PENSAMIENTO Y LA EMOCIÓN**

- 6.1. Bases neuroanatómicas de la emoción en el razonamiento
- 6.2. Bases neuroanatómicas de la emoción en la toma de decisiones

RESUMEN**MAPA CONCEPTUAL****BIBLIOGRAFÍA****PALABRAS CLAVE DEL CAPÍTULO**

Pensamiento • Razonamiento • Toma de decisiones • Solución de problemas • Estudios de lesiones • Resonancia magnética funcional • Electroencefalografía • Estimulación cerebral • Procesos heurísticos • Lóbulo frontotemporal izquierdo • Procesos analíticos • Lóbulo parietal bilateral • Detección de conflictos • Corteza prefrontal derecha • Analogías • Corteza prefrontal rostralateral • Emoción • Corteza prefrontal ventromedial • Memoria de trabajo • Corteza prefrontal dorsolateral

OBJETIVOS

- Integrar los conocimientos adquiridos en temas previos con los estudios de neurociencia.
- Conocer las principales técnicas en los estudios de neurociencia del pensamiento.
- Conocer la relación de las lesiones cerebrales y el pensamiento.
- Conocer las regiones cerebrales relacionadas con el pensamiento.
- Conocer las regiones cerebrales implicadas en los procesos heurísticos y analíticos.
- Conocer el curso temporal del pensamiento.
- Conocer las redes cerebrales del pensamiento.
- Conocer las bases cerebrales de las teorías del razonamiento.
- Conocer los substratos cerebrales del papel de la emoción en el pensamiento.

NÚCLEOS TEMÁTICOS BÁSICOS

TÉCNICAS DE LA NEUROCIENCIA DEL PENSAMIENTO

- El presente capítulo se enmarca dentro de la neurociencia cognitiva que estudia la cognición, en nuestro caso, el pensamiento, a través del estudio del cerebro.
- El estudio del cerebro en el marco de la neurociencia del pensamiento ha sido posible a través de los estudios de pacientes con lesiones cerebrales y las técnicas de neurofisiología y de neuroimagen.
- Los pacientes con lesiones cerebrales (variable independiente) han permitido estudiar los efectos cognitivos y conductuales (variable dependiente), lo que ha posibilitado relacionar un área del cerebro con una función cognitiva. En cambio, las técnicas de neurofisiología y de neuroimagen manipulan una variable como puede ser el efecto del contenido (variable independiente) y registran la actividad del cerebro (variable dependiente).
- Las técnicas de neurofisiología registran la actividad de las neuronas y tienen buena resolución temporal. Destacamos la electroencefalografía y la magnetoencefalografía.
- Las técnicas de neuroimagen registran la actividad metabólica o el flujo sanguíneo y tienen buena resolución espacial. Destacamos la resonancia magnética funcional y la tomografía por emisión de positrones.

LESIÓN PREFRONTAL DERECHA/IZQUIERDA Y PENSAMIENTO

- La corteza prefrontal derecha se ha relacionado con la resolución de los problemas poco estructurados y la detección de conflictos, mientras que la corteza prefrontal izquierda se ha relacionado con la resolución de problemas bien estructurados y el lenguaje.
- Algunos ejemplos de tareas poco estructuradas podrían ser el problema de la torre de Hanói o una tarea financiera, donde hay que proponer algunas formas de ahorro o una tarea en la que hay que planificar un viaje. En todas estas tareas, los pacientes con una lesión en la corteza prefrontal derecha mostraron dificultades comparados con los pacientes con una lesión en la corteza prefrontal izquierda.
- En una tarea de silogismos encontraron que mientras los pacientes con una lesión en la corteza prefrontal izquierda tenían dificultades en la resolución de silogismos determinados (válidos o inválidos), los pacientes con una lesión en la corteza prefrontal derecha tenían problemas en la resolución de silogismos indeterminados, es decir, aquellos con varias conclusiones posibles, lo que indicaría la relación de la corteza prefrontal derecha con la incertidumbre y la detección de conflictos provocados por varias conclusiones posibles.

- En la tarea de selección de Wason, los pacientes con una lesión en la corteza prefrontal derecha y el grupo control mejoraron sus resultados en la condición del esquema de permiso abstracto y concreto comparado con la condición con contenido abstracto arbitrario, mientras que no se observó ninguna mejora en los pacientes con una lesión en la corteza prefrontal izquierda. Estos resultados parecen indicar la relación que existe entre la corteza prefrontal izquierda y el lenguaje.

BASES NEUROANATÓMICAS DEL PENSAMIENTO

- Uno de los objetivos de la neurociencia cognitiva es encontrar las áreas que contribuyen en los procesos cognitivos. En este sentido, el lóbulo frontotemporal izquierdo se ha asociado con los procesos heurísticos, mientras que el lóbulo parietal bilateral se ha relacionado con los procesos analíticos.
- Otro de los objetivos de la neurociencia cognitiva es estudiar el curso temporal de los procesos cognitivos. En este sentido, el componente N200, que alcanza su amplitud máxima a los 200 milisegundos, se ha relacionado con el procesamiento de los estímulos incongruentes, mientras que el componente P300, que alcanza su amplitud máxima a los 300 milisegundos, se ha relacionado con el procesamiento de los estímulos esperados.
- Y por último, el gran reto de la neurociencia cognitiva es estudiar, no sólo las áreas que se activan en un proceso cognitivo, sino las conexiones que existen entre las áreas. En este sentido hemos destacado la red cerebral del *insight*, que estaría formada por la corteza prefrontal dorsolateral, relacionada con la memoria de trabajo; el hipocampo, relacionado con la memoria a largo plazo; así como el núcleo accumbens y el área tegmental, relacionados con la recompensa al alcanzar la solución del problema.

BASES NEUROANATÓMICAS DE LAS TEORÍAS DEL RAZONAMIENTO

- Se ha recurrido a la neurociencia cognitiva para responder a un debate clásico sobre si

el pensamiento se basa en reglas de acuerdo con la teoría de reglas o en modelos mentales como defiende la teoría de los modelos mentales. La teoría de reglas destaca el papel del hemisferio izquierdo relacionado con el lenguaje, mientras que la teoría de los modelos mentales destaca el papel del hemisferio derecho relacionado con las representaciones visoespaciales. Actualmente no hay datos concluyentes que nos permita falsar alguna teoría.

- Los datos parecen indicar que más que hablar de la naturaleza del pensamiento en general, habría que hablar del tipo de problema. Por ejemplo, en el razonamiento silogístico categórico se activa el hemisferio izquierdo apoyando la teoría de reglas, mientras que en el razonamiento silogístico transitivo se activa el lóbulo parietal bilateral, relacionado con la cognición espacial, apoyando así la teoría de los modelos mentales.

BASES NEUROANATÓMICAS DEL PENSAMIENTO Y LA EMOCIÓN

- En este apartado relacionamos el pensamiento con la emoción. Los datos parecen indicar que las emociones primarias podrían mejorar el razonamiento cuando la emoción es relevante para el contenido de dicho razonamiento, es decir, cuando la emoción y el contenido son semánticamente similares, mientras que las emociones secundarias como los valores morales y el sentido de la justicia podrían perjudicar las decisiones racionales.
- En el juego del ultimátum, los chimpancés y los niños aceptaban más ofertas injustas, lo que suponía mayores ganancias económicas, igual que las personas con un alto control cognitivo y aquellas que regulaban sus emociones a través de la re-evaluación. En cambio, los pacientes con una lesión en la corteza prefrontal ventromedial, relacionada con la emoción, rechazaban más ofertas injustas que un grupo control. Este mismo efecto también se encontró en las personas a las que se les inducía tristeza y asco. Estos resultados parecen indicar que la emoción interfiere en las respuestas racionales (entendidas como beneficios o ganancias económicas).

1. INTRODUCCIÓN

La neurociencia cognitiva es una disciplina que integra la psicología cognitiva con la neurociencia. La neurociencia cognitiva adopta, por tanto, el objetivo de estudio de la psicología cognitiva: el estudio de la cognición, junto con las tareas experimentales y las perspectivas teóricas. El método para el estudio de la cognición recae sobre la neurociencia, adoptando así las técnicas que han permitido el estudio del cerebro. Evidentemente, la evolución del estudio científico del cerebro es, al igual que la de la propia psicología, relativamente breve. Su inicio se sitúa en el siglo xix, aunque los hallazgos claves se producen en el siglo xx. Inicialmente, el análisis a escala microscópica permitió identificar los elementos fundamentales de los sistemas nerviosos (las neuronas), así como el mecanismo por el que dichos elementos se influyen unos a otros (las sinapsis electroquímicas). Para este mismo nivel de análisis, disponemos en la actualidad de conocimientos muy detallados: sobre los tipos y composición química de las neuronas, su capacidad computacional (de procesamiento y transmisión de información) y la dinámica de su desarrollo evolutivo. En paralelo, el estudio a escala macroscópica ha tratado de localizar las conductas y funciones psicológicas de las diferentes estructuras o regiones que forman el cerebro. Desde la perspectiva localizacionista se ha defendido que cada región del cerebro se asocia a una función cognitiva. Sin embargo, los hallazgos más recientes indican que la cognición depende más de la actividad conjunta de múltiples áreas (redes o conexiones cerebrales) que de la actividad de una única región del cerebro. La transición de una a otra forma de ver la relación entre el cerebro y la cognición tiene mucho que ver con las limitaciones tecnológicas para la investigación en humanos durante gran parte del siglo xx.

Hoy nos encontramos en un momento donde se ha producido un gran avance de la tecnología que ha permitido plantear dos grandes retos para los próximos años. Por un lado, el proyecto conectoma humano que se está desarrollando en las instituciones americanas con el objetivo de conocer el conectoma o conexiones del cerebro para entender el comportamiento y las enfermedades mentales. Por otro lado, el proyecto europeo del cerebro humano (*Human Brain Project*) que pretende simular el cerebro en sus diferentes niveles. Algunos escépticos piensan que estos objetivos no son realistas en la actualidad, sin embargo, el fin último de estos proyectos es conocer el cerebro desde su nivel más básico, la genética, hasta su nivel superior, la conducta.

Estas líneas introductorias nos permiten entender la importancia de conocer el cerebro para la mejor com-

prensión de la conducta (véase el Cuadro 9.1). Pero la pregunta que surge es cómo contribuye el estudio del cerebro en la psicología del pensamiento. Para responder a esta pregunta, revisaremos algunas de las investigaciones que hay sobre pensamiento a través de la neurociencia. Nos centraremos en un análisis macroscópico, es decir, revisaremos regiones relativamente grandes del cerebro, y estudiaremos cómo se coordinan en el tiempo y en el espacio para posibilitar el pensamiento.

Comenzaremos con la metodología que se usa en la neurociencia cognitiva para estudiar el cerebro: los estudios de lesiones y nuevas técnicas neurofisiológicas y de neuroimagen. Seguidamente revisaremos algunos estudios de pacientes con lesiones cerebrales y nos centraremos en el lóbulo frontal. En concreto, disociaremos las funciones de la corteza prefrontal derecha y la corteza prefrontal izquierda. La corteza prefrontal es la región que más se ha desarrollado evolutivamente si nos comparamos con nuestros antepasados y se relaciona con la atención y la memoria de trabajo, funciones cognitivas claves para el pensamiento. Por otro lado, las técnicas de neuroimagen nos han permitido estudiar las áreas que contribuyen en los procesos cognitivos. En nuestro caso nos centraremos en los procesos heurísticos, relacionados con el lóbulo frontotemporal izquierdo y los procesos analíticos, relacionados con el lóbulo parietal bilateral.

Las técnicas neurofisiológicas, destacando la electroencefalografía, nos han permitido el estudio del curso temporal del pensamiento. En concreto, estudiaremos el razonamiento condicional, pero también veremos como la electroencefalografía permite estudiar las áreas que están conectadas al compartir el mismo ritmo o frecuencia, lo que indicaría que todas ellas están sincronizadas y podrían contribuir a una misma función cognitiva. Estudiaremos un ejemplo con el *insight*, el cual también utilizaremos para presentar la red cerebral que se relaciona con este momento de alcanzar la solución.

Seguidamente pondremos el foco en las teorías del razonamiento y nos adentraremos en el debate sobre si hay alguna teoría que encuentre un correlato neural que pueda corroborar alguna teoría frente a otra. Finalmente, abordaremos la relación que existe entre el pensamiento y la emoción (la razón y el corazón), dos procesos que aparecen enfrentados en la literatura clásicamente.

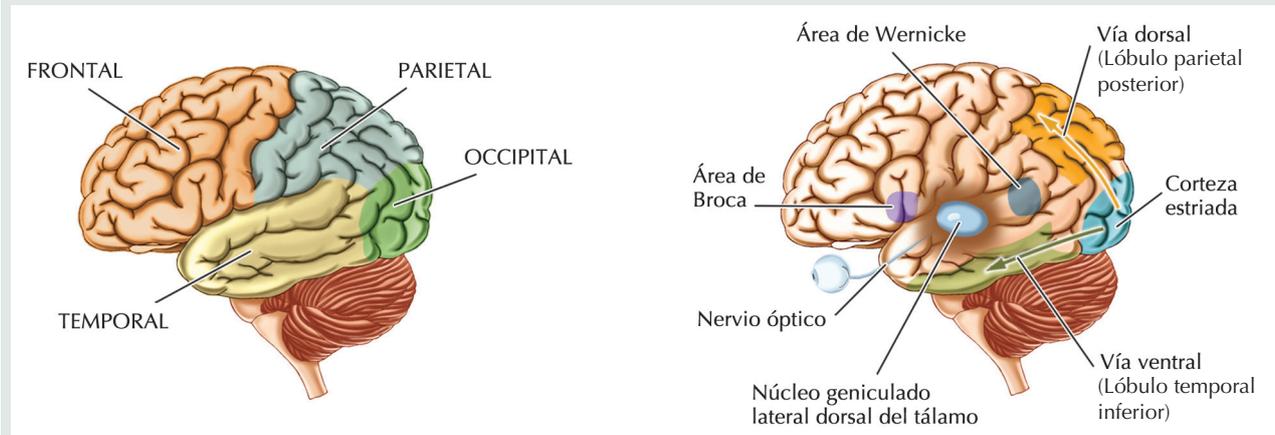
2. TÉCNICAS DE LA NEUROCIENCIA DEL PENSAMIENTO

En la actualidad existen dos tipos de datos empíricos que se utilizan para dibujar lo que podríamos

Cuadro 9.1 Introducción del cerebro

El cerebro se divide en cuatro lóbulos: occipital, temporal, parietal y frontal (véase la Figura 9.1). En líneas generales, el lóbulo occipital es el encargado de procesar la información visual. La información procedente de los ojos llega al núcleo geniculado lateral dorsal del tálamo a través del nervio óptico donde se realiza un primer preprocesamiento, y de ahí llega a la corteza visual primaria (la corteza estriada) donde se procesan las principales propiedades del objeto. Después se distingue la vía ventral (el lóbulo temporal inferior) que identifica el objeto y responde a sus propiedades (forma, textura y color) y la vía dorsal (el lóbulo parietal posterior) encargada de localizar el objeto en el espacio. El lóbu-

lo temporal se relaciona con el procesamiento de la información auditiva y la memoria, además también es muy conocida el área de Wernicke que se relaciona con la comprensión del lenguaje. El lóbulo parietal es el de asociación y su función es integrar diferente información procedente de diferentes áreas del cerebro y hacer una representación cognitiva del espacio. Por último, el lóbulo frontal se relaciona con la planificación, solución de problemas y funciones cognitivas complejas. Se destaca también el área de Broca relacionada con la producción del lenguaje (Abril Alonso y colaboradores, 2007).

**Figura 9.1**

Representación de las principales áreas del cerebro señaladas en el texto. Todas las áreas descritas se localizan en la superficie de la corteza, excepto el tálamo que se encuentra en el interior del cerebro sobre la base del tronco del encéfalo.

denominar la neuroanatomía de la cognición. Por un lado, estarían los precedentes de estudios de pacientes con lesiones cerebrales y, por otro, los que se obtienen con las nuevas técnicas de la neurofisiología y la neuroimagen. Basándonos en esto vamos a estructurar este apartado en dos: primero abordaremos los estudios de lesiones y luego las nuevas tecnologías para el estudio funcional del cerebro: neurofisiología y neuroimagen.

2.1. Estudios de lesiones

La presencia de una lesión cerebral puede utilizarse como variable independiente para de ese modo poder estudiar sus efectos cognitivos y conductuales (variable dependiente). Gran parte de los progresos iniciales en neuropsicología derivan de esta clase de «experimentos naturales» en los que, bien sea por accidente o por enfermedad, una parte más o menos amplia del cerebro pierde su función. Un caso famoso es el de Phineas Gage, quien en un accidente laboral

perdió parte de su lóbulo frontal, lo que afectó gravemente a su capacidad para planificar tareas cotidianas y regular su conducta y reacciones emocionales (véase el Cuadro 9.2). Este caso permitió conocer la relación que existe entre una estructura del cerebro y la función que se observa afectada. Dos son los elementos claves a la hora de poder establecer una relación de este tipo. De un lado, se debe poder situar de forma precisa el lugar de la lesión, algo que hasta finales del siglo xx solamente se podía hacer mediante análisis post-mortem como fue el caso del propio Phineas Gage; hoy en día disponemos de la resonancia magnética. De otro, es necesario contar con una amplia batería de pruebas o tareas psicológicas que permitan analizar el tipo de función alterada. La psicología cognitiva ha sido y es clave en el desarrollo de este último aspecto. Como disciplina, una de sus grandes contribuciones ha sido la creación de paradigmas o tareas experimentales cada vez más sofisticados, capaces no solamente de estudiar una función cognitiva específica, sino también los diferentes procesos que la conforman. En este sentido, es conveniente resaltar de nuevo que la

Cuadro 9.2 El caso de Phineas Gage

Phineas Gage trabajaba en la construcción de una vía de ferrocarril donde usaban explosivos para hacer agujeros en la montaña. En una de esas explosiones una barra de metal impactó en la cara de Gage, le atravesó por detrás del ojo izquierdo y salió por la parte superior del cráneo. Estamos en el año 1848 y a pesar de este aparatoso accidente no tuvo ninguna alteración en el movimiento o el habla. Seguía siendo inteligente y podía resolver problemas abstractos, tenía buena memoria y podía realizar nuevos aprendizajes. Sin embargo, «Gage ya no era Gage». Cambió su personalidad radicalmente, dejó de ser responsable y no cumplía sus compromisos lo que le llevó a la incapacidad de mantener un trabajo, bien porque él mismo los dejaba o porque le echaban

tras continuos conflictos con sus compañeros. También dejó de ser socialmente habilidoso. Era agresivo e incapaz de regular sus emociones. Murió doce años más tarde probablemente debido a las consecuencias de las crisis epilépticas que sufría.

Damasio, Grabowski, Frank, Galaburda y Damasio (1994), tras un exhaustivo estudio del cráneo, concluyeron que probablemente la estructura afectada fuera la corteza prefrontal ventromedial, área que conecta con núcleos subcorticales como la amígdala y el hipotálamo, que se encuentran relacionados con la emoción y las funciones vitales básicas, respectivamente. La corteza prefrontal ventromedial se asocia con el procesamiento emocional, la regulación emocional y la cognición social.

contribución de la psicología cognitiva al desarrollo de las tareas y la definición de procesos es y será fundamental para su integración con las neurociencias y va, por tanto, más allá de su importante aplicación en el estudio y la evaluación de pacientes con lesiones cerebrales.

La interpretación y las conclusiones a extraer de los estudios de lesiones no es para nada tan robusta como pueda parecer a primera vista. En el caso descrito de Phineas Gage, una primera conclusión puede ser que, dado que la lesión que sufrió en el lóbulo frontal tuvo un determinado tipo de consecuencias conductuales y cognitivas, entonces esta región del cerebro tiene un papel causal necesario y suficiente para dichas funciones cognitivas y conductuales. Este tipo de inferencia se conoce como disociación simple y se caracteriza por considerar que una estructura lesionada que se acompaña de una alteración en una determinada función debe ser de algún modo responsable último de dicha función. En realidad, este tipo de inferencia no está del todo justificada, principalmente porque no permite descartar otras interpretaciones alternativas igualmente válidas. Bien podría ser que lesiones en otras regiones tengan consecuencias similares o que la misma lesión tenga efectos conductuales y cognitivos diferentes, cuya manifestación específica depende del paciente y de la evolución de la propia lesión. Para sortear este tipo de problemas de interpretación, los investigadores han ido incorporando diseños y medidas más sofisticados, siendo quizás los más representativos aquellos que persiguen obtener una doble disociación entre las funciones y las áreas cerebrales. En la disociación doble se asume que la región A se relaciona con una función X y que la región B se relaciona con la función Y. A partir de ahí, se comparan lo bien o mal que se ejercen las tareas asociadas a cada función en cada tipo de lesión. Si la región A se acompaña de una pobre ejecución de X pero no afecta a Y, entonces se establece una cierta especificidad para la relación causal de A sobre X, que se ve reforzada en el caso de

que la lesión de B no tenga ningún efecto sobre X y sí sobre Y. Evidentemente este tipo de comparaciones es más robusta a la hora de mostrar la especificidad de la relación entre una región cerebral y una función cognitiva.

Cabe señalar, sin embargo, que las evidencias acumuladas en las últimas décadas utilizando este tipo de diseños y también investigaciones con técnicas de neuroimagen sugieren que las relaciones específicas entre áreas y funciones son más la excepción que la regla (Sporns, 2010). De hecho, tales relaciones parecen observarse de forma clara solamente para las áreas cerebrales dedicadas al procesamiento sensorial y a la producción de acciones motoras. Por ello, es frecuente encontrar casos en los que el mismo tipo de lesión cerebral produce consecuencias conductuales distintas debido sobre todo a que el cerebro, como iremos viendo, opera más como una red interconectada de áreas que como módulos separados e independientes con funciones conductuales y cognitivas específicas. En los estudios de pacientes con lesiones, este modelo de red interconectada ofrece varias explicaciones alternativas para los casos en los que se observan efectos conductuales diferentes para una misma lesión (Feldman Barrett, 2017). Tales diferencias podrían ocurrir, por ejemplo, por variaciones en la forma en la que se reorganizan las estructuras intactas adyacentes a la región lesionada. Impulsadas por mecanismos de plasticidad cerebral, estas otras regiones forman nuevas conexiones que en parte permiten suplir las deficiencias derivadas de la pérdida de la zona lesionada. Una variedad de factores determina el curso de dicha reorganización y serían en último lugar los responsables de las diferentes manifestaciones del mismo tipo de lesión. También podría ser el caso de que las diferencias se deban a que el área lesionada es necesaria para la función, pero no suficiente. Esta perspectiva sería la que mejor encaja con el modelo de redes o circuitos neurales, donde una función psicológica implica la participación de una multitud de áreas cerebrales. Fi-

nalmente, otra posibilidad sería que la zona lesionada no participe directamente en una función cognitiva, sino que medie o haga de puente entre áreas que sí contribuyen de forma más directa a dicha función. En esta ocasión podríamos cometer el error de indicar su participación cuando es un mero enlace entre otras estructuras. Por ejemplo, en la Figura 9.8 podemos ver cómo el lóbulo temporal anterior y el lóbulo temporal medial se conectan con la corteza prefrontal ventrolateral a través del fascículo uncinado y esta red se relaciona con la regulación emocional. De este modo, la participación del fascículo uncinado es meramente conectar áreas implicadas en la regulación emocional, pero no tiene una participación directa. Esto nos lleva a la conclusión de que hay que ser cautos con nuestras interpretaciones sobre la relación entre el cerebro y las funciones psicológicas.

Parte de las dificultades encontradas por la investigación con lesiones cerebrales deriva de las limitaciones a la hora de encontrar un número suficiente de pacientes con una lesión similar. Esta limitación no se ha dado en la investigación animal en la que el experimentador puede producir directamente las lesiones de interés o estimular directamente zonas cerebrales de dichos animales usando pulsos eléctricos. Sin embargo, parece obvio que existe una barrera a la hora de generalizar los hallazgos de la investigación animal a la explicación de la cognición humana. En la actualidad, el desarrollo de técnicas de estimulación cerebral no invasivas e indoloras, destacando la estimulación magnética transcraneal y la eléctrica, están facilitando la realización de estudios hasta cierto punto similares a los realizados en animales. En estos estudios, grupos relativamente grandes de participantes reciben estimulación en una o varias regiones cerebrales, aplicada siempre desde la superficie exterior de la cabeza. Los efectos de la estimulación se evalúan mediante la realización de tareas experimentales que miden uno o varios procesos de interés. Habitualmente, los efectos en estas tareas se obtienen de la comparación entre grupos que reciben diferentes tipos de estimulación y/o un grupo control sin estimulación. Los resultados pueden mostrar tanto efectos de facilitación como de interferencia, es decir, mejor o peor ejecución debido a la estimulación en una región cerebral específica. Sin duda, este tipo de estudios están contribuyendo y contribuirán a un mejor conocimiento de la relación entre cerebro y cognición. De hecho, están siendo también de gran utilidad para el desarrollo de nuevos tratamientos para el daño neurológico y los trastornos psiquiátricos. No obstante, al igual que con los estudios clásicos de lesiones, la estimulación de áreas cerebrales difícilmente puede dar lugar a resultados que puedan ser interpretados desde una perspectiva

localizacionista pura: a saber, como reflejo de relaciones necesarias, suficientes y exclusivas entre una zona cerebral y un determinado proceso o función psicológica. La evidencia acumulada con estas técnicas, cuando son combinadas con las de registro de actividad cerebral, sugiere más bien lo contrario. Se observa habitualmente que la estimulación de un área específica produce la co-activación casi inmediata y a veces de forma prolongada en el tiempo de áreas tanto próximas como distantes. Estos patrones de activación varían en función de, entre otros factores, el tipo de tarea a realizar, lo que refuerza, por tanto, la idea de que más que hablar de una anatomía modular de la cognición debemos hablar de redes de activación que subyacen al ejercicio de determinadas funciones cognitivas.

2.2. Estudio funcional del cerebro: neurofisiología y neuroimagen

El segundo tipo de técnicas son las de registro, en las que no se altera la actividad del cerebro sino que el investigador presenta una tarea donde manipula sus condiciones experimentales (variable independiente) y registra los cambios cerebrales asociados (variable dependiente). Dentro de estas técnicas distinguimos entre las neurofisiológicas, que tienen buena resolución temporal y las de neuroimagen, que tienen buena resolución espacial. Las primeras miden directamente la actividad de las neuronas y destacamos la electroencefalografía y la magnetoencefalografía. Las segundas detectan cambios en el metabolismo o flujo sanguíneo mientras que los sujetos realizan una tarea cognitiva. Vemos así que son técnicas que miden de forma indirecta la actividad de las neuronas puesto que suponemos que el mayor consumo metabólico se debe a un incremento en la actividad neuronal, que a su vez correlaciona con la tarea cognitiva que se está realizando. Dentro de las técnicas de neuroimagen destacamos la resonancia magnética funcional y la tomografía por emisión de positrones. A continuación presentamos una breve descripción de estas técnicas:

- *La electroencefalografía (EEG)* registra la actividad eléctrica de las neuronas cuando se comunican entre ellas y esta actividad se ve modificada por la tarea que se está realizando. Esta técnica tiene buena resolución temporal, es decir, nos indica el curso temporal del procesamiento cognitivo con alta precisión (véase el Cuadro 9.3).
- *La magnetoencefalografía (MEG)*. Hemos comentado que la EEG registra la actividad eléctrica de las neuronas y asociado a esta actividad

se genera un campo magnético perpendicular a la misma que es lo que registra la MEG. Por tanto, ambas medidas están íntimamente relacionadas. La MEG tiene buena resolución temporal y también espacial, aunque su uso en la investigación es poco frecuente por su alto coste económico.

- La resonancia magnética funcional (RMf) registra el consumo de metabolitos (oxígeno-glucosa). El mayor consumo se relaciona con la tarea cognitiva que se está realizando. Esta técnica nos proporciona una buena resolución espacial

y permite relacionar la estructura del cerebro que modifica su actividad metabólica con la tarea cognitiva.

- La tomografía por emisión de positrones (TEP) consiste en inyectar una sustancia por vía intravenosa que se fija al tejido según su actividad metabólica, dado que dicho metabolismo incrementa en las regiones con mayor actividad neuronal que a su vez se asocia con la tarea cognitiva que se está realizando (Enríquez de Valenzuela, 2014).

Cuadro 9.3 La electroencefalografía (EEG)

La electroencefalografía registra la actividad eléctrica de las neuronas y obtenemos una representación como la de la Figura 9.2. Una medida frecuentemente estudiada en psicología es el Potencial Evocado asociado a un Evento o estímulo (PEE) y hace referencia a la señal (onda) que provoca un estímulo. Los psicólogos suelen presentar al menos dos condiciones experimentales. Por ejemplo, una palabra emocional frente a una palabra neutra y se estudia la onda generada de la substracción (la resta) de cada una de las ondas de las condiciones. Hay dos formas de analizar la onda:

1. A través de la amplitud y la latencia. La amplitud es la máxima altura que alcanza una onda, mientras que la latencia sería el momento temporal donde se alcanza esa máxima altura. Estas dos medidas correlacionan con el procesamiento cognitivo que se está midiendo, en el ejemplo, el efecto de la emocionalidad en el procesamiento de las palabras lo que permitiría saber en qué momento se procesaría el contenido emocional comparado con el contenido neutro.

Vemos así que esta técnica nos proporciona información sobre el curso temporal del procesamiento con alta precisión.

2. A través del análisis tiempo-frecuencia donde se analiza el número de ciclos (vueltas) completo que da una onda en un segundo. Esta medida se conoce como la frecuencia y se mide en hercios (Hz). Hay cuatro intervalos de frecuencia o ritmos muy conocidos como son:
 - El ritmo Delta que tiene una frecuencia menor de 4 Hz y se asocia con el sueño profundo.
 - El ritmo Theta que tiene una frecuencia de 4 a 7 Hz y se asocia a estar dormido.
 - El ritmo Alfa que iría de 8 a 13 Hz y se asocia a un estado de vigilia y reposo.
 - El ritmo Beta que supera los 14 Hz y se asocia con actividad.

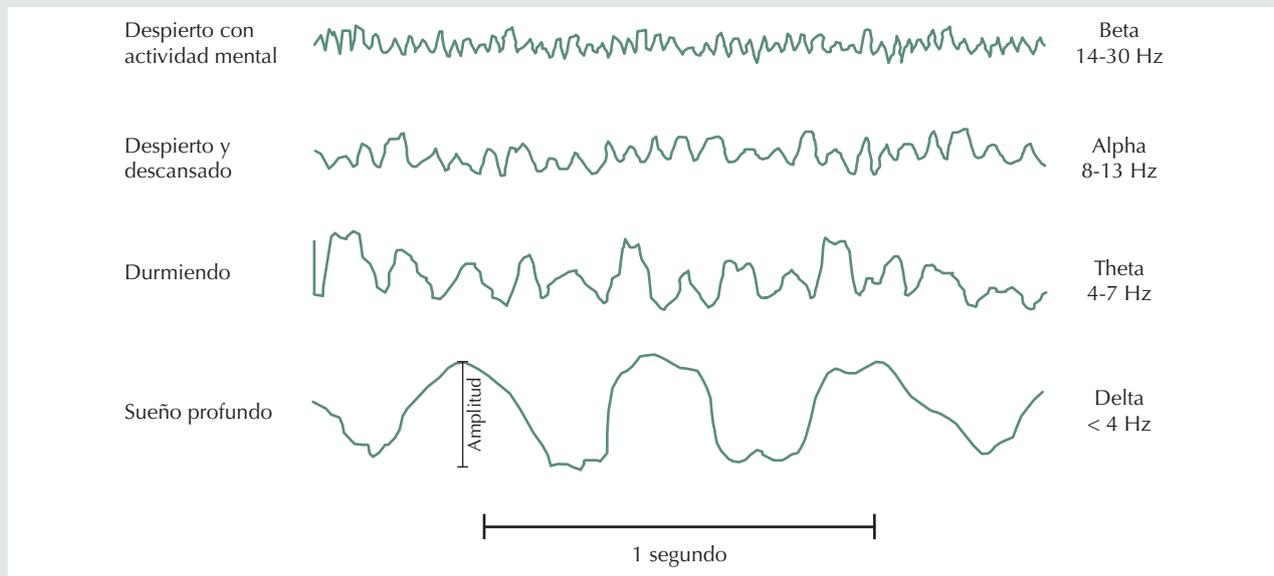


Figura 9.2

Principales ritmos del EEG.

3. LESIÓN PREFRONTAL DERECHA/IZQUIERDA Y PENSAMIENTO

Como se ha comentado en el apartado anterior, los estudios de lesiones ofrecen la posibilidad de investigar la relación que existe entre un área del cerebro y su función cognitiva. El ejemplo de Phineas Gage nos ha permitido conocer la relación que existe entre el lóbulo frontal y la planificación, pero esta área se relaciona con otras funciones cognitivas. Por ejemplo, mientras que la corteza prefrontal derecha se ha relacionado con la resolución de problemas poco estructurados y la detección de conflictos, la corteza prefrontal izquierda se ha relacionado con la resolución de problemas bien estructurados y el lenguaje. Veamos algunos estudios de lesiones que confirman esta relación entre el lóbulo frontal y sus funciones cognitivas asociadas.

3.1. Tarea de la Torre de Hanói

Tal y como le ocurría a Phineas Gage, los pacientes con una lesión en el lóbulo frontal derecho suelen tener intacta su inteligencia y memoria a largo plazo. Estos pacientes resuelven correctamente problemas abstractos, en cambio, tienen dificultades en tareas cotidianas como vestirse o preparar una comida. Esta dificultad en tareas cotidianas se ha relacionado clásicamente con una dificultad en la planificación de las tareas y se ha evaluado a través de la tarea de la Torre de Hanói (conocida también como el Problema de la Torre de Hanói). Como se comentó en el capítulo de la solución de problemas, en esta tarea se presentan tres pivotes. En el primero, hay tres discos dispuestos de menor a mayor tamaño (de arriba abajo) y la tarea consiste en pasarlos al tercer pivote manteniendo la disposición inicial, pero sin mover más de un disco a la vez y sin colocar un disco de mayor tamaño encima de otro menor. Goel y Grafman (1995) presentaron el problema de la Torre de Hanói a pacientes con la corteza prefrontal afectada y encontraron que éstos realizaban peor la tarea que un grupo control sin ninguna lesión cerebral. El 51% de los pacientes resolvieron la tarea frente al 84% del grupo control. Los pacientes que acabaron la tarea tardaron el doble y el número de movimientos también era mayor comparado con el grupo control. En contra a lo defendido en las investigaciones previas, los autores señalaron que estos resultados no se explicaban por una incapacidad en la planificación, sino por una dificultad para mantener el objetivo en la memoria de trabajo que le impediría su ejecución. De hecho, Goel, Pullara y Grafman (2001)

simularon los resultados del estudio anterior a través de un modelo computacional donde manipularon la memoria de trabajo. De esta forma confirmaron que las diferencias encontradas entre ambos grupos (pacientes y grupo control) se debían a sus diferencias en la memoria de trabajo.

3.2. Tarea financiera

Goel, Grafman, Tajik, Gana y Danto (1997) presentaron una tarea financiera en la que los participantes (pacientes con una lesión en la corteza prefrontal y un grupo control sin ninguna lesión) tenían que presentar propuestas para poder garantizar en una familia el pago de los recibos, la hipoteca, los estudios de sus dos hijos, así como ahorros suficientes para su jubilación. Los resultados mostraron que el grupo control tardó más tiempo en realizar la tarea que el grupo de pacientes. Esto se debió fundamentalmente a que el grupo control generó más propuestas, además de ser diferentes. En concreto, los pacientes se centraron en propuestas para eliminar los gastos, mientras que el grupo control presentó tanto propuestas para reducir gastos como para incrementar ingresos. También se observó que mientras que ambos grupos presentaban propuestas similares a corto plazo respecto al pago de los recibos y la hipoteca, los pacientes presentaban una mayor dificultad para proponer propuestas a largo plazo, referidas a los estudios de los hijos y el plan de ahorro para la jubilación. En general, las propuestas de los pacientes fueron menos elaboradas y menos detalladas. Según los pacientes, la tarea era difícil y estaban inseguros de sus respuestas. Es importante indicar que cuando los autores dividieron a los diez pacientes en grupos de alta y baja memoria no observaron diferencias en sus respuestas entre el grupo de alta memoria y el grupo control. Además, los cinco pacientes que formaban el grupo de alta memoria tenían alta inteligencia y resolvían el problema de la Torre de Hanói. Estos resultados favorecerían la hipótesis de que las diferencias en la realización de la tarea financiera se modulaban por la función cognitiva afectada (memoria e inteligencia) más que por la propia lesión.

En ambos estudios de Goel y colaboradores (1995; 1997), el grupo control no tenía ninguna lesión cerebral y esto no nos permite saber si los resultados encontrados podrían deberse a la propia lesión de la corteza prefrontal o si cualquier lesión del cerebro produciría los mismos efectos. Otra limitación a destacar sería que presentaron una muestra de tamaño pequeño, diez pacientes, lo que dificultaría obtener conclusiones robustas. Estas limitaciones se superaron al encontrar resultados similares en otro estudio

posterior con pacientes con una lesión en la corteza prefrontal derecha o en la corteza prefrontal izquierda, así como pacientes con una lesión posterior y personas sin ninguna lesión. Cuando se compararon los resultados de estos cuatro grupos, se encontró que los primeros hacían propuestas más abstractas, generales e imprecisas cuando tenían que planificar un viaje de una pareja comparado con los otros tres grupos (Goel y colaboradores, 2013). Estos resultados corroboraron la conclusión apuntada por Goel (2010) al destacar la función de la corteza prefrontal derecha en la resolución de problemas poco estructurados, de ahí que su lesión tenga consecuencias para las tareas cotidianas vistas en este apartado. Por el contrario, la corteza prefrontal izquierda se activaría ante problemas bien estructurados.

3.3. Tarea de silogismos transitivos

Goel y colaboradores (2007) quisieron disociar la función de la corteza prefrontal izquierda y derecha en una tarea de silogismos transitivos y para ello presentaron silogismos válidos, inválidos indeterminados e inválidos determinados. Como hemos comentado en el capítulo de razonamiento silogístico, un silogismo es válido cuando su conclusión no se puede falsar o lo que es lo mismo, es necesariamente verdadera. Por ejemplo:

- María es más inteligente que Lucía.
- Lucía es más inteligente que Julia.
- María es más inteligente que Julia.

Un silogismo es inválido indeterminado cuando hay más de una conclusión posible. Por ejemplo:

- María es más inteligente que Lucía.
- María es más inteligente que Julia.
- Lucía es más inteligente que Julia.

La conclusión: «Lucía es más inteligente que Julia» es una conclusión posible, pero es igual de posible que «Lucía es menos inteligente que Julia» o «Lucía es igual de inteligente que Julia».

Un silogismo es inválido determinado cuando no se sigue la conclusión. Por ejemplo:

- María es más inteligente que Lucía.
- Lucía es más inteligente que Julia.
- Julia es más inteligente que María.

La conclusión «Julia es más inteligente que María» no se sigue de las premisas, de hecho, es falsa.

Los autores presentaron estos tres tipos de silogismos, la mitad eran válidos y la otra mitad inválidos. La tarea de los participantes era indicar si los silogismos eran o no válidos, es decir, si la tercera frase se seguía de las dos primeras. Los resultados mostraron que tanto los pacientes con una lesión en la corteza prefrontal derecha como los pacientes con una lesión en la corteza prefrontal izquierda hacían peor todos los tipos de silogismos comparados con un grupo control. Los autores también encontraron que mientras que los pacientes con una lesión en la corteza prefrontal izquierda hacían peor los silogismos determinados (válidos o inválidos) comparados con los pacientes con una lesión en la corteza prefrontal derecha, éstos últimos obtenían peores resultados en los silogismos indeterminados comparados con el primer grupo. Este hallazgo indicaría que la corteza prefrontal izquierda se activaría cuando la información es completa y hay una conclusión válida, necesariamente verdadera; mientras que la corteza prefrontal derecha se activaría cuando hay varias conclusiones posibles, es decir, ante situaciones de incertidumbre. Estos resultados podrían relacionarse con la detección de conflictos que se ha relacionado con la corteza prefrontal derecha, pues varias conclusiones posibles generarían un conflicto entre ellas.

3.4. Tarea de selección de Wason

Por último, vamos a destacar el papel de la corteza prefrontal izquierda en el lenguaje. Es bien conocida el área de Broca situada en la corteza prefrontal izquierda y relacionada con las funciones del lenguaje. Fue el médico Paul Broca el que dio nombre a esta área después de hacer estudios postmortem de cerebros de pacientes afásicos (incapaces de hablar), los cuales tenían esta área afectada. La contribución de Broca fue importante porque fue uno de los primeros en confirmar la perspectiva localizacionista que relacionaba un área del cerebro con una función cognitiva. Hoy sabemos que la corteza prefrontal izquierda no se relaciona exclusivamente con la producción del habla, pero sí se relaciona con el lenguaje en un sentido más amplio.

Para comprobar la relación que existe entre la corteza prefrontal izquierda y el lenguaje, Goel, Shuren, Sheesley y Grafman (2004) presentaron la tarea de selección de Wason con tres tipos de contenidos siguiendo a Cheng y Holyoak (1985): abstracto arbitrario, esquemas de permiso abstracto y esquemas de permiso concreto. En el contenido abstracto arbitrario presentaron un enunciado «Si hay una consonante por

una cara, entonces hay un número impar por la otra» junto a cuatro tarjetas: P, E, 7, 2. Todas las tarjetas tenían una letra por una cara y un número por la otra. La tarea de los participantes era darle la vuelta a la tarjeta o tarjetas que fueran necesarias para saber si el enunciado era verdadero o falso. Un enunciado es verdadero cuando no se puede falsar.

La respuesta correcta, entonces, sería darle la vuelta a las tarjetas P y 2. Si se da la vuelta a la tarjeta P y hay un 7 (o cualquier número impar) por la otra cara, el enunciado es verdadero, mientras que si se obtiene cualquier número par, entonces el enunciado es falso. Del mismo modo si se da la vuelta a la tarjeta 2 y hay una E (o cualquier otra vocal), el enunciado es verdadero, mientras que si hay una P (o cualquier consonante), entonces el enunciado es falso. En el caso de las tarjetas E y 7 podrían tener cualquier número (par o impar) y cualquier letra (consonante o vocal), respectivamente y el enunciado sería verdadero. Por tanto, las tarjetas que permiten saber si el enunciado es verdadero son aquellas con las que se comprueba que el enunciado no se puede falsar y en este caso serían las tarjetas P y 2.

Las personas rara vez realizan la tarea correctamente y los autores encontraron los mismos resultados tanto para los pacientes como para el grupo control en la condición abstracta arbitraria. Estos resultados cambiaron para las condiciones del esquema de permiso abstracto «Si se va a realizar la acción A, entonces debe satisfacerse primero la precondition B» y concreto «Si una persona bebe alcohol, entonces debe de tener al menos 18 años» donde los pacientes con la corteza prefrontal derecha afectada mejoraron igual que el grupo control, sin embargo, los pacientes con la corteza prefrontal izquierda afectada mostraron los peores resultados. Este hallazgo apuntaría a que estos últimos pacientes no se beneficiaban del conocimiento social abstracto o concreto.

Una limitación de este estudio es que el grupo control no tenía ninguna lesión y como consecuencia no se podría concluir si este efecto se debía exclusivamente a la corteza prefrontal izquierda u otra lesión podría provocar los mismos efectos. De hecho, numerosos estudios también han destacado la contribución del lóbulo temporal izquierdo en la memoria (el conocimiento). Por otro lado, lo que parece confirmar este estudio es que la condición abstracta arbitraria que no presentaba contenido social se relaciona con procesos analíticos asociados con el lóbulo parietal y en este caso, tanto pacientes como el grupo control tendrían esta área intacta, de ahí que no se observaran diferencias entre ellos en esta condición. En el próximo apartado veremos la distinción entre los procesos analíticos asociados al lóbulo parietal y los procesos

heurísticos, relacionados con el conocimiento y el lóbulo frontotemporal izquierdo.

4. BASES NEUROANATÓMICAS DEL PENSAMIENTO

4.1. Procesos heurísticos y analíticos del pensamiento

Ya vimos como Evans (1984; 1989) distingue dos procesos para explicar el razonamiento: el proceso heurístico (también conocido como el sistema₁), que se caracteriza por ser un proceso rápido, inconsciente y automático, y el proceso analítico o sistema₂, que se caracteriza por ser lento, consciente y controlado. Varias investigaciones sostienen que estos dos procesos pueden distinguirse bien en su anatomía cerebral. Así, muchos de estos estudios entienden que los procesos heurísticos se asocian con el lóbulo frontotemporal izquierdo, mientras que los procesos analíticos se relacionan con el lóbulo parietal bilateral (Goel, 2007). En este apartado revisaremos varias investigaciones del razonamiento deductivo, inductivo y probabilístico que distinguen entre los procesos heurísticos y los analíticos.

En primer lugar, abordaremos dentro del razonamiento deductivo, el efecto del contenido en el razonamiento silogístico categórico. Con este propósito, Goel, Buchel, Frith y Dolan (2000) presentaron silogismos con contenido. Por ejemplo:

- Todos los perros son mascotas.
- Todos los caniches son perros.
- Todos los caniches son mascotas.

Y silogismos sin contenido:

- Todos los B son A.
- Todos los C son B.
- Todos los C son A.

La tarea de los participantes era indicar si el tercer enunciado se seguía de las premisas, es decir, si la conclusión era o no válida. Los resultados mostraron que cuando las personas resolvían los silogismos con contenido se activaba el lóbulo frontotemporal izquierdo, mientras que cuando resolvían los silogismos sin contenido se activaba el lóbulo parietal bilateral (véase la Figura 9.3). Además de manipular el contenido (silogismos con contenido y sin contenido), los autores también manipularon conclusiones creíbles y no creíbles. Los resultados mostraron que se activaba la corteza prefrontal derecha, relacionada con la de-

tección de conflictos, cuando se producía un conflicto entre la validez y la credibilidad, es decir, ante conclusiones válidas y no creíbles, así como aquellas que eran no válidas y creíbles.

Es importante señalar que en los estudios de resonancia magnética funcional se presentan como mínimo dos condiciones experimentales (por ejemplo, la condición con contenido y sin contenido) y se estudia el efecto, que es la diferencia entre dichas condiciones experimentales. En los estudios de resonancia magnética funcional, cada condición activa prácticamente todo el cerebro. Lo que se hace entonces es restar una condición a la otra señalando así el área del cerebro que las diferencia. Esto es importante porque algunos lectores pueden interpretar erróneamente que en una condición experimental solamente se activa una estructura del cerebro y más bien lo que se presenta en los estudios es la diferencia entre ambas condiciones. Por tanto, cuando se destaca el lóbulo frontotemporal izquierdo en la condición de silogismos con contenido no significa que solamente esta área se activa, sino que hay una mayor activación de esta área en la condición de silogismos con contenido frente a la condición sin contenido. De hecho, multitud de áreas están activas en el cerebro cuando se realiza una tarea,

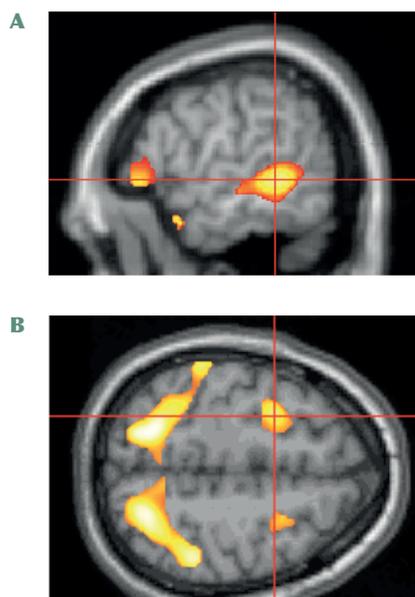


Figura 9.3

A) La figura de arriba corresponde al silogismo con contenido y se activa el lóbulo frontal izquierdo, relacionado con el lenguaje y el lóbulo temporal izquierdo, relacionado con la memoria. Ambas áreas se asocian con los procesos heurísticos. B) La figura de abajo corresponde con el razonamiento del material sin contenido y destacamos el lóbulo parietal bilateral, relacionado con los procesos analíticos. Imagen extraída de Goel y colaboradores (2000).

pero debido a la complejidad de análisis que esto supone se ha pecado de una exposición localizacionista y simplista en el sentido de atribuir una única área del cerebro a una función cognitiva compleja.

En otra investigación sobre razonamiento inductivo, Liang, Goel, Jia y Li (2014) estudiaron la falacia de la inclusión que consiste en considerar más convincente (más probable) la generalización de una categoría específica (petirrojo) a una general (pájaro) que la generalización de una categoría específica a otra específica (por ej., avestruz). Para su estudio, los autores presentaron un primer argumento formado por una premisa específica y una conclusión general:

- Los petirrojos secretan cristales de ácido úrico.
- Los pájaros secretan cristales de ácido úrico.

Y un segundo argumento formado por una premisa específica y una conclusión específica:

- Los petirrojos secretan cristales de ácido úrico.
- Las avestruces secretan cristales de ácido úrico.

La tarea de los participantes era indicar qué argumento era más probable. El argumento más probable era el segundo porque es más probable que dos ejemplares (petirrojos y avestruces) que pertenecen a una categoría compartan una propiedad que todos los ejemplares de dicha categoría (pájaros). Esta idea la saben bien las personas. De hecho, los autores presentaron otra condición donde añadieron el cuantificador «todos» y los resultados cambiaron. Por ejemplo, presentaron un primer argumento con una premisa específica y una conclusión general:

- *Todos* los petirrojos secretan cristales de ácido úrico.
- *Todos* los pájaros secretan cristales de ácido úrico.

Y un segundo argumento con una premisa y una conclusión específica:

- *Todos* los petirrojos secretan cristales de ácido úrico.
- *Todas* las avestruces secretan cristales de ácido úrico.

Los resultados conductuales (aciertos y tiempo de reacción) mostraron que los participantes hacían inferencias correctas con más frecuencia que cometían la falacia de la inclusión en la condición explícita (precedida por «todos»), mientras que no había diferencias entre ambas respuestas para la condición implícita (que no estaba precedida por «todos»). En cambio, el tiem-

po de reacción era mayor para la falacia comparado con el de la respuesta correcta en la condición explícita (precedida por «todos»), mientras que no había diferencias entre ambas respuestas en la condición implícita.

Los resultados de la resonancia magnética funcional mostraron que los participantes que cometían la falacia de la inclusión activaron el lóbulo frontotemporal izquierdo, además de la corteza frontal superior medial bilateral. La activación del lóbulo frontotemporal izquierdo se relaciona con la memoria y su acceso al contenido y este hallazgo coincide con los resultados encontrados en el estudio de los silogismos con contenido. La activación de la corteza frontal superior medial bilateral se relaciona con una respuesta de orientación de la atención. También se observó una activación en el lóbulo frontoparietal derecho en la condición implícita donde aumentaron el número de falacias en las respuestas de los participantes. La activación del lóbulo parietal se relaciona con un procesamiento analítico mientras que la corteza prefrontal derecha se asocia a la detección de un conflicto entre la respuesta correcta y la falaz. Igualmente, la condición implícita podría resultar ambigua al no indicar explícitamente que se refería a todos los ejemplares y los participantes podrían interpretar que se refería a «algunos» o «la mayoría», entre otras posibles interpretaciones.

Otra tarea diferente donde se encuentran resultados similares es en una versión del problema del abogado-ingeniero. Ya hemos estudiado en el capítulo del razonamiento probabilístico que las personas son insensibles a las probabilidades a priori y se dejan llevar por el heurístico de representatividad, basándose para ello en el conocimiento sobre el estereotipo de ingeniero. Tomando como referencia el problema del abogado-ingeniero, De Neys y Goel (2011) presentaron cuatro condiciones:

- **Incongruente:**

Ratio: En un estudio hay 5 hombres y 995 mujeres.

Descripción: Jo tiene 23 años y está acabando el grado de ingeniería. Los sábados por la noche le gusta salir con sus amigos y escuchar música, así como beber cervezas.

Pregunta: ¿Qué es más probable?

- a) Jo es un hombre.
- b) Jo es una mujer.

- **Congruente:**

Ratio: En un estudio hay 5 suecos y 995 italianos.

Descripción: Marco tiene 16 años. Le gusta jugar al fútbol con sus amigos y salir a tomar una pizza o hacer pasta en casa.

Pregunta: ¿Qué es más probable?

- a) Marco es sueco.
- b) Marco es italiano.

- **Heurística neutra:**

Ratio: En un estudio hay 5 votantes de Bush y 995 votantes de Kerry.

Descripción: Jim mide 1,70, tiene el pelo negro y es padre de dos niñas. Conduce una furgoneta amarilla cubierta de varios posters.

Pregunta: ¿Qué es más probable?

- a) Jim es votante de Bush.
- b) Jim es votante de Kerry.

- **Análítica neutra:**

Ratio: En un estudio hay 500 personas de 40 años y 500 personas de 17 años.

Descripción: Rylan vive en Búfalo. Le gusta escuchar música pop y está ahorrando para comprarse una casa.

Pregunta: ¿Qué es más probable?

- a) Rylan tiene 40 años.
- b) Rylan tiene 17 años.

En la condición incongruente se esperaba que las personas darían una respuesta sesgada al considerar que Jo era hombre basándose en la descripción y en su conocimiento sobre el estereotipo de hombre con independencia de la probabilidad a priori. En la condición congruente se esperaba un mayor número de respuestas correctas al coincidir la descripción del estereotipo con la probabilidad a priori, es decir, había 995 italianos frente a 5 suecos y la descripción era prototípica de un italiano. En la condición heurística neutra se daba una descripción neutra y se esperaba que los participantes atendieran a las probabilidades a priori. Y finalmente, en la versión analítica neutra las probabilidades a priori eran similares y se esperaba que los participantes basaran su decisión en la descripción del estereotipo.

Los resultados conductuales mostraron que las condiciones congruentes y analíticas neutras tenían más aciertos y se respondían más rápidamente que las condiciones incongruentes y heurísticas neutras, siendo la más difícil la incongruente. Por otro lado, los resultados de la resonancia magnética funcional mostraron que las personas activaban el lóbulo temporal lateral izquierdo cuando utilizaban el heurístico de representatividad para resolver el problema, es decir, basaban sus decisiones en su conocimiento; mientras que activaban el lóbulo parietal bilateral cuando lo resolvían activando los procesos analíticos. También observaron que las personas activaban la corteza prefrontal lateral derecha relacionada con la detección de conflictos

cuando había una incongruencia entre la probabilidad a priori y la descripción y respondían correctamente en la condición incongruente.

Estos resultados son similares a los estudios descritos en este mismo apartado previamente, con independencia del tipo de problema presentado. En todos ellos se activa el lóbulo frontotemporal izquierdo cuando las respuestas se basan en los procesos heurísticos (el conocimiento) y el lóbulo parietal bilateral en los procesos analíticos. Además, se activa la corteza prefrontal derecha cuando se detecta un conflicto entre las respuestas que se basan en los procesos analíticos y heurísticos.

4.2. Curso temporal del pensamiento

Hasta ahora nos hemos centrado en las áreas neuroanatómicas que se activan en el pensamiento, pero la neurociencia puede contribuir en la psicología del pensamiento a través del estudio del curso temporal del pensamiento. Como ya se ha indicado en apartados anteriores, la electroencefalografía (EEG) tiene buena resolución temporal por lo que vamos a recurrir a ella para abordar este punto donde se pretende dar ejemplos de cómo los estímulos incongruentes pueden ser procesados rápidamente, incluso antes del procesamiento de estímulos esperados. Con este objetivo, Bonnefond y Van der Henst (2013) presentaron condicionales tales como:

- Si John está durmiendo, entonces está roncando.

Seguidamente o previamente se presentó una de las siguientes frases:

- *Un antecedente congruente:* John está durmiendo.
- *Un antecedente incongruente:* John está cantando.
- *Un consecuente congruente:* John está roncando.
- *Un consecuente incongruente:* John está soñando.

Fíjese que el consecuente incongruente «John está soñando» es coherente con el enunciado «Si John está durmiendo, entonces está roncando. John está durmiendo», sin embargo, no es esperado por parte del participante y en su lugar se esperaría «John está roncando». Este estudio es un diseño 2 (posición de la premisa menor antes o después del condicional) por 2 (premisas menor congruente o incongruente con el condicional). Los resultados mostraron que en la región centroparietal el componente P300 era mayor en las condiciones congruentes que en las incongruentes. El componente P300 es un componente positivo, de ahí la «P», que indica un aumento de

actividad, encontrando su pico máximo alrededor de los 300 milisegundos después de presentarse el estímulo. Cada componente se asocia a un procesamiento cognitivo y en el caso del P300 se asocia al procesamiento de estímulos esperados (familiares), congruentes frente a incongruentes como observamos en este experimento. Véase el Cuadro 9.4 para profundizar sobre el componente P300.

Ahora bien, dentro de las condiciones congruentes, los autores encontraron que el P300 alcanzaba su máxima amplitud cuando el consecuente era congruente:

- Si John está durmiendo, entonces está roncando.
- John está durmiendo.
- John está roncando.

Por otro lado, la amplitud del P300 en la condición del antecedente congruente cuando se presentaba después del condicional era menor que en la condición previa:

- Si John está durmiendo, entonces está roncando.
- John está durmiendo.

Y por último, la amplitud del P300 en la condición del antecedente congruente cuando se presentaba antes del condicional era menor que en las dos condiciones anteriores:

- John está durmiendo.
- Si John está durmiendo, entonces está roncando.

Según estos datos, la condición más esperada es la congruente frente a la incongruente y dentro de la condición congruente, cuando se presenta el consecuente después del condicional.

Bonnefond y colaboradores (2012), en un experimento similar, pero presentando un contenido abstracto con letras «Si hay una letra A, entonces hay una letra C» estudiaron el modus ponens (MP) y la falacia de la afirmación del consecuente (AC). El modus ponens (MP) consiste en presentar:

- El *condicional*: Si hay una letra A, entonces hay una letra C.
- Seguido del *antecedente*: Hay una letra A.
- Y el *consecuente*: Hay una letra C.

En la falacia de la afirmación del consecuente (AC) se presenta:

- El *condicional*: Si hay una letra A, entonces hay una letra C.

Cuadro 9.4 El componente P300 y el test de la verdad

En enero de 2014 se publicó una noticia en un periódico nacional (*El País*) que decía: «Una prueba neurológica para localizar el cuerpo de Marta del Castillo. La policía pide que se realice “un test de la verdad” a Miguel Carcaño para localizar a la chica. La técnica recoge las ondas cerebrales que genera la persona ante una serie de imágenes. La onda P300 con mayor altura representa la fotografía del lugar que más recuerda el individuo».

Según esta noticia, los investigadores podrían saber dónde estaba el cuerpo de la víctima a través de la medición del componente P300, ¿pero es esto posible? Ya adelantamos que en la actualidad no se sabe dónde escondieron a Marta del Castillo. Pero para saber qué puede y qué no puede aportar el P300 hay que conocer este componente. Para estudiarlo se ha utilizado el paradigma *oddball*. Consiste

en utilizar estímulos irrelevantes que se presentan frecuentemente y estímulos relevantes (fotografías o palabras) que se presentan con poca frecuencia. Los resultados muestran que ante el estímulo relevante se produce una amplitud máxima aproximadamente a los 300 ms (el componente P300) y esto sería un indicador de que dicho estímulo es relevante (familiar o esperado) para el sujeto. En el caso de Miguel Carcaño, la presentación de fotografías de distintos lugares de su ciudad pudieron ser familiares y relevantes para él con independencia de su relación con Marta del Castillo, de ahí que aunque el P300 es sensible a estímulos relevantes no se le puede considerar «el test de la verdad». Esto es sólo un ejemplo evidente de la necesidad de contrastar y verificar la información que se nos presenta, especialmente aquella que parece resolver grandes retos.

- Seguimiento del *consecuente*: Hay una letra C.
- Y el *antecedente*: Hay una letra A.

Los participantes tenían que indicar si la inferencia era válida o no. La primera inferencia es válida mientras que la segunda no lo es, aunque la mayoría de las personas la aceptan como tal. Los resultados mostraron que las personas aceptaban como válida en mayor proporción el modus ponens que la afirmación del consecuente y además la primera inferencia era más rápida que la segunda. También encontraron que las personas que no consideraron válida la afirmación del consecuente tardaron más que los que la aceptaron como válida. Estos resultados eran consistentes con las predicciones de la teoría de los modelos mentales, según la cual, las personas pueden representar el condicional a través del modelo inicial:

A C

En este caso, cuando se presenta el consecuente «Hay una letra C» entienden que la única inferencia posible es «Hay una letra A», de ahí que consideren la afirmación del consecuente válida, pero esto es un error. En cambio, las personas también pueden representar el condicional a través de los modelos explícitos:

A	C
No-A	C
No-A	No-C

En este otro caso, cuando se presenta el consecuente «Hay una letra C» entienden que hay dos posibles conclusiones (A y no A) y, por tanto, la inferencia «Hay una letra A» no es válida. Como la representación de tres modelos mentales es más costosa que la representación de un modelo, esto se traduce en un mayor tiempo de procesamiento.

Los autores también analizaron los datos de la electroencefalografía. En primer lugar, compararon

la premisa menor para el modus ponens («Si hay una letra A, entonces hay una letra C. Hay una letra A») y la afirmación del consecuente («Si hay una letra A, entonces hay una letra C. Hay una letra C»). Los resultados mostraron un mayor P300 centroparietal para el MP comparado con la AC, mientras que el N200 era mayor para la AC comparado con el MP en el área frontocentral. El N200 es un componente negativo, de ahí la «N», que indica disminución de la actividad, encontrándose su pico máximo alrededor de los 200 milisegundos después del estímulo y se relaciona con la información inesperada o incongruente. Los hallazgos de este estudio indicarían que la mayor amplitud del P300 para el MP se asocia a que las personas esperaban más el antecedente que el consecuente. De la misma manera, la mayor amplitud del N200 para la AC revelaría que el consecuente era menos esperado que el antecedente.

Seguidamente, los autores compararon los datos de la electroencefalografía después de la presentación de la conclusión del modus ponens («Si hay una letra A, entonces hay una letra C. Hay una letra A. Hay una letra C») y la afirmación del consecuente («Si hay una letra A, entonces hay una letra C. Hay una letra C. Hay una letra A»). En este análisis, los autores distinguieron entre aquellos participantes que aceptaban como válida la AC y aquellos que no la aceptaban. En estos últimos se observó un mayor P300 para el MP comparado con la AC. Esto indicaría que el antecedente A no era esperado puesto que no-A también era posible. En esta misma línea, el componente N200 era mayor para la AC que para el MP en el área frontocentral. No hay diferencias entre el MP y la AC para aquellos que aceptan la AC como válida, ni en el componente P300, ni en el N200 puesto que representarían en ambas inferencias lo mismo, el modelo inicial.

Estos dos mismos componentes fueron analizados en otra investigación, pero esta vez el objetivo era estudiar *el efecto de supresión*. Ya hemos comentado en la investigación previa un ejemplo de modus ponens:

- Si John estudia, entonces aprueba.
- John estudia.
- John aprueba.

La mayoría de las personas aceptan esta inferencia, pero si se presentan alternativas que puedan interferir en la conclusión como «John no es inteligente o John se puso enfermo el día del examen o el examen era extremadamente difícil», entonces se tenderá a no aceptar la conclusión como válida. A esta disminución en la aceptación del modus ponens como válida se denomina efecto de supresión.

Bonnefond, Kaliuzhna, Van der Henst y De Neys (2014) presentaron condicionales que tenían muchas y pocas alternativas y los resultados mostraron que el 78% aceptó como válida el modus ponens en la condición de pocas alternativas frente al 24% en la condición de muchas alternativas. Además, los condicionales con muchas alternativas presentaban mayor N200 en el área frontal comparado con los condicionales de pocas alternativas, mientras que los condicionales con pocas alternativas presentaban mayor P300 en el área centroparietal y parietal comparado con los condicionales de muchas alternativas (véase la Figura 9.4). Estos resultados son congruentes con los estudios previos al encontrar un mayor P300 relacionado con los condicionales de pocas alternativas y, por tanto, eran más esperados que aquellos que tenían muchas alternativas. En la misma dirección se encuentra el mayor N200 para los condicionales con muchas alternativas lo que indicaría que eran menos esperados que los condicionales con pocas alternativas.

Estos datos confirmarían los estudios previos y en su conjunto indicarían que nuestro sistema cognitivo es especialmente sensible a los estímulos incongruentes o difíciles de procesar aproximadamente a los 200 ms, mientras que es sensible o procesa aquellos estímulos esperados en torno a los 300 ms. El lector debe de ser consciente que a los 200 o 300 ms se procesa una palabra o cómo dicha palabra se integra en el contexto previo. Esto significa que cogiendo estos momentos temporales tan tempranos se hace difícil estudiar el pensamiento en sí que suele tardar más tiempo. Además, los componentes más estudiados y que sabemos con qué tipo de función cognitiva se relacionan suelen ser tempranos, antes de los 600 ms, lo que complica su uso para el estudio del pensamiento. Ahora bien, esto no significa que no podamos usar la electroencefalografía para el estudio del pensamiento, de hecho veremos en el apartado de la solución de problemas otra forma de analizar la misma señal que podría resultar más útil en el estudio del pensamiento.

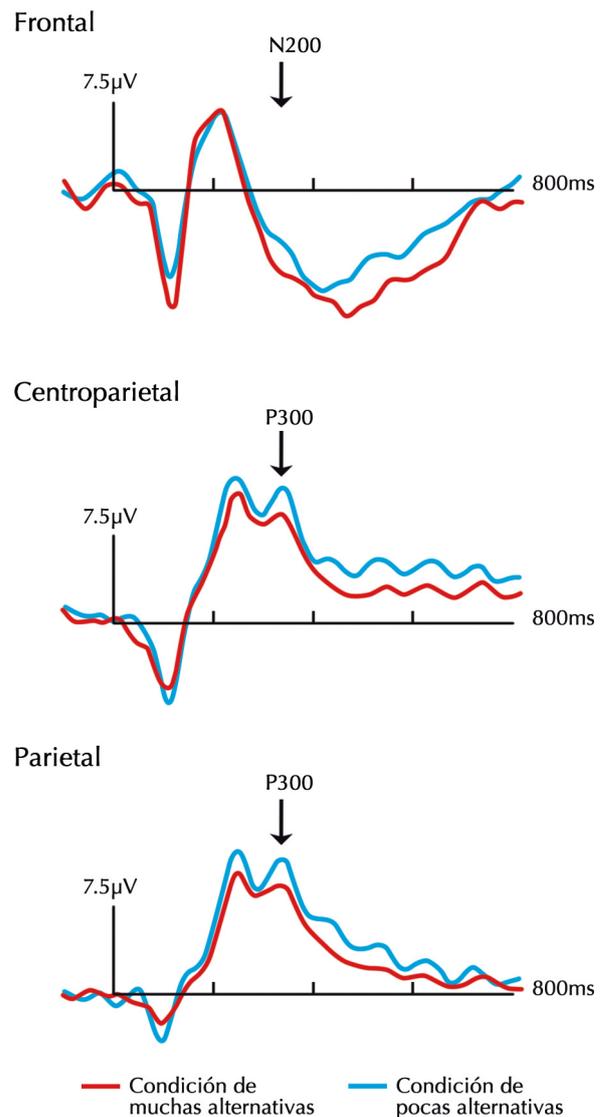


Figura 9.4

Representación de las ondas cerebrales evocadas tras la presentación del consecuente del condicional con pocas alternativas (línea azul) y con muchas alternativas (línea roja). Los resultados muestran las diferencias de ambos condicionales en los componentes N200 o P300 en áreas centrales del lóbulo frontal, centroparietal y parietal. Figura extraída de Bonnefond, Kaliuzhna, Van der Henst y De Neys (2014).

4.3. Red cerebral del pensamiento

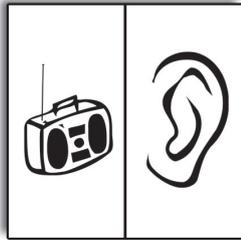
Como hemos comentado en la introducción, el gran reto de los investigadores en la actualidad es conocer además de las áreas del cerebro relacionadas con el pensamiento, las conexiones que existen entre dichas áreas. Para abordar este punto vamos a revisar

algunas investigaciones sobre el razonamiento analógico y la solución de problemas.

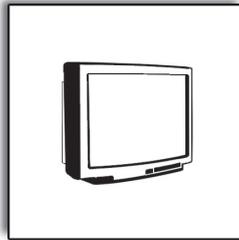
Krawczyk, McClelland y Donovan (2011) propusieron una tarea de analogías de cuatro términos (A, B, C, D; véase la Figura 9.5). Una analogía se presenta como una serie ordenada de cuatro términos en la que la relación que se establece entre el primer par de términos es análoga a la del segundo par de términos (A:B :: C:D). Por ejemplo, estos autores presentaron dos objetos relacionados como es el caso de una radio y una oreja (escuchamos la radio a través de la oreja). Seguidamente aparecía otro objeto (una televisión) y los sujetos tenían que inferir el cuarto objeto basándose en la relación previa.

El razonamiento sería «la radio es a la oreja como la televisión es a» y de forma general, «A es a B como C es a D». Por último, se presentaba el cuarto objeto (un ojo) y la tarea era indicar si cumplía o no la relación previa. En este ejemplo se respondería afirmativamente porque la radio se escucha (oreja) y la televisión se ve (ojo). Esta condición experimental se comparaba con dos condiciones de control donde los participantes tenían que señalar si la relación entre el tercer y el cuarto objeto era semántica (pino-piña) o perceptiva (anzuelo-bastón) con independencia de la relación entre los dos primeros objetos.

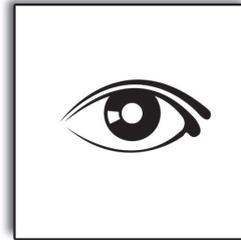
A. TAREA DE ANALOGÍAS



Primera relación

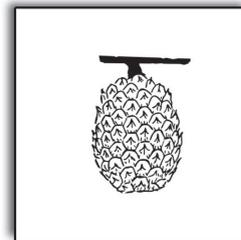
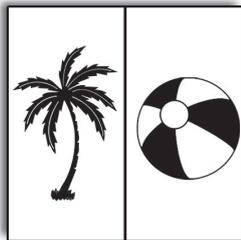


Inferencia

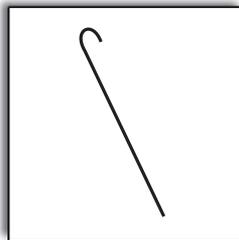
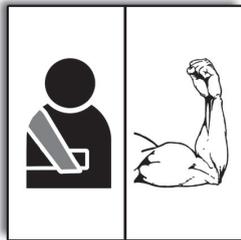


Respuesta

B. TAREA DE CONTROL SEMÁNTICA



C. TAREA DE CONTROL PERCEPTIVA



TIEMPO



Figura 9.5

Diseño de la tarea de analogías. Figura extraída de Krawczyk, McClelland y Donovan (2011).

Los resultados de la resonancia magnética funcional mostraron que se activaba la corteza prefrontal rostrolateral. Esta activación se mantenía a lo largo de la tarea de analogías y no mostraba diferencias con la tarea de control perceptiva y semántica. Esto indica que la corteza prefrontal rostrolateral se relaciona con un proceso de abstracción que ocurre en las tres condiciones. Por otra parte, también se activó el giro frontal inferior y la corteza prefrontal dorsolateral, los cuales sí mostraron diferencias en la condición de control perceptiva comparada con las otras dos condiciones. Este hallazgo muestra que la tarea de analogías era más parecida a la tarea de control semántica que a la de control perceptiva. El giro frontal inferior se ha relacionado con la memoria semántica, mientras que la corteza prefrontal dorsolateral con la memoria de trabajo, ambas funciones son más demandadas tanto en la tarea de analogías como en la tarea de control semántica, de ahí su mayor activación en dichas áreas (véase la Figura 9.6).

En otra tarea de razonamiento analógico, Wendelken, Chung y Bunge (2012) distinguieron entre analogías semánticas y visoespaciales (véase la Figura 9.7). Los participantes veían cuatro objetos, dos en la parte superior y dos en la parte inferior. La tarea consistía en responder a las preguntas de primer orden y de segundo orden. Las preguntas de primer orden se refieren a la similitud entre dos objetos (cisne y barco) en una dimensión como la localización (si los objetos viven en el mar o la tierra) o la categoría (si son animales o vehículos). Las preguntas de segundo orden hacen referencia a la similitud entre los pares de objetos de la parte superior y los de la parte inferior.

Veamos un ejemplo de analogía semántica donde aparecían cuatro objetos: un cisne, un barco, una bicicleta y un pulpo. En la parte superior se presentaba un cisne y un barco y se preguntaba si eran similares en cuanto a la localización. En este caso, la respuesta

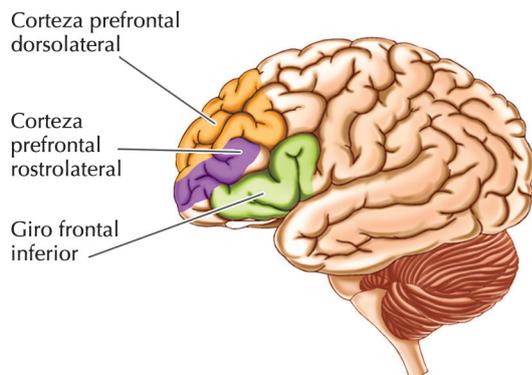


Figura 9.6

Representación de las áreas activadas en una tarea de analogías.

correcta sería afirmativa puesto que ambos se encuentran en el mar. Después se preguntaba por su similitud en cuanto a la categoría y en este caso, la respuesta correcta sería negativa puesto que uno es un animal y otro es un vehículo. El par de la parte inferior era una bicicleta y un pulpo. En cuanto a la pregunta de la localización, la respuesta correcta sería negativa puesto que la bicicleta se encuentra en la tierra y el pulpo en el mar. En la pregunta de la categoría, la respuesta también sería negativa porque uno es un vehículo y el otro es un animal. Finalmente, se preguntaba por la relación de segundo orden, es decir, si el cisne es a un barco como una bicicleta es a un pulpo en términos de localización y categoría, y la respuesta de nuevo sería negativa.

En la analogía visoespacial se presentaban también cuatro figuras, dos en la parte superior y dos en la parte inferior. Seguidamente se preguntaba si eran similares en cuanto a la dirección de las figuras que venía marcada con un círculo. Las figuras de la parte superior señalaban a la izquierda mientras que las figuras de la parte inferior lo hacían a la derecha. Por tanto, la respuesta sería afirmativa en los dos casos. Después se preguntaba por la forma de la figura, si las líneas eran curvas o rectas, y este no era el caso ni para las figuras de la parte superior ni inferior. Finalmente, para la pregunta de segundo orden sobre si la figura A es a B como C es a D en cuanto a la dirección y forma, la respuesta correcta sería afirmativa.

Los resultados conductuales mostraron que las preguntas de segundo orden eran más difíciles que las de primer orden en términos de aciertos y tiempo de reacción. Además, la analogía semántica era más difícil que la visoespacial. Esto podría deberse a que los participantes necesitaban acudir a la memoria (conocimiento) para responder sobre la categoría (vehículo o animal) y localización (mar o tierra), en cambio, para la analogía visoespacial la respuesta sobre la forma y la dirección de las figuras era más perceptiva. Los resultados de la resonancia magnética funcional encontraron la activación de la corteza prefrontal rostrolateral izquierda para ambos tipos de analogías. El lóbulo parietal posterior se activaba en las analogías visoespaciales, relacionado con la cognición espacial, mientras que se activaba la corteza prefrontal ventromedial en las analogías semánticas.

Knowlton, Morrison, Hummel y Holyoak (2012) presentaron una teoría computacional de las principales áreas del cerebro relacionadas con el razonamiento analógico y también distinguieron dos redes cerebrales relacionadas con la analogía visoespacial y semántica (véase la Figura 9.8). Destacaron principalmente la corteza prefrontal rostrolateral (CPFRL), pero también la corteza prefrontal dorsolateral (CPFDL) y la corteza

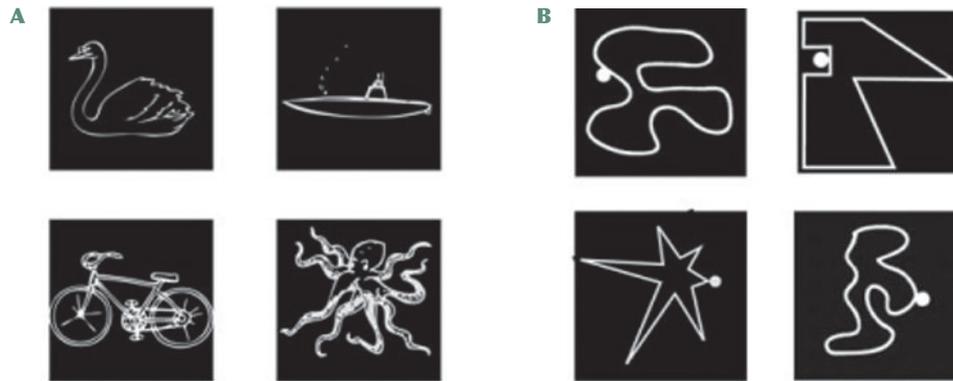


Figura 9.7

Ejemplo del material presentado en el experimento de Wendelken, Chung y Bunge (2012) con analogías semánticas y visoespaciales. **A)** En la parte izquierda se muestra el material correspondiente a la analogía semántica. **B)** En la parte derecha se muestra el material correspondientes a la analogía visoespacial. Figura extraída de Wendelken, Chung y Bunge (2012).

prefrontal ventrolateral (CPFVL). La corteza prefrontal dorsolateral (CPFDL) forma parte de una red cerebral relacionada con la analogía visoespacial a través de sus conexiones con el lóbulo parietal incluido el precunio (PC) y la unión temporo-parietal (UTP) a través del fascículo longitudinal superior (FLS). En cambio, la corteza prefrontal ventrolateral (CPFVL) se incluye en una red cerebral relacionada con la analogía semántica al conectarse a través del fascículo uncinado (FU) con el lóbulo temporal anterior (LTA), que se ha relacionado con la memoria semántica y el lóbulo temporal medial (LTM; incluyendo el hipocampo y la corteza entorrinal), que se ha relacionado con la memoria episódica.

Krawczyk (2012) resaltó, en su revisión de artículos sobre razonamiento analógico, áreas similares al

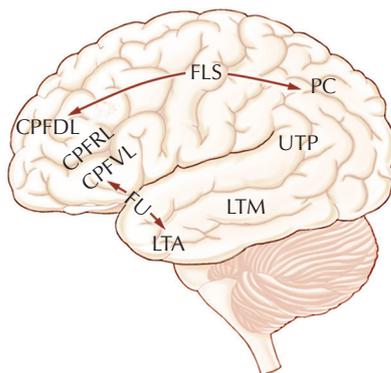


Figura 9.8

Representación de la red neural relacionada con el razonamiento analógico. Figura extraída de Knowlton, Morrison, Hummel y Holyoak (2012).

estudio previo. Por ejemplo, la corteza prefrontal es un área clave por su contribución en la selección de la atención y la memoria de trabajo. En concreto, la corteza prefrontal rostralateral izquierda y la corteza prefrontal dorsolateral bilateral, las cuales se activan en cualquier tipo de analogía. La primera se relaciona con la abstracción (analogía y búsqueda de similitudes), mientras que la segunda con la memoria de trabajo y el control inhibitorio de la información irrelevante, función que también comparte con el giro frontal inferior bilateral. Por otro lado, el giro frontal inferior izquierdo tiene una función en la memoria semántica igual que el lóbulo temporal. En cuanto a la analogía visoespacial se activa el lóbulo occipito-parietal que se conecta con la corteza prefrontal dorsolateral permitiendo un procesamiento de abajo-arriba y viceversa. Hobeika, Diard-Detoeuf, Garcin, Levy y Volle (2016) encontraron resultados similares en un metaanálisis con 27 estudios sobre el razonamiento analógico.

La red que se asocia con la solución de problemas también se ha estudiado en otro tipo de tareas. Por ejemplo, Tik y colaboradores (2018) abordaron este objetivo estudiando uno de los procesos relacionados con la resolución de problemas, el *insight* o comprensión súbita que hace referencia al paso de un estado inicial vago y confuso a otro estado en el que se obtiene una comprensión de la naturaleza del problema y su posible solución. El *insight* se corresponde con la expresión ¡Ah ya lo tengo o Eureka! Los autores presentaron tres palabras: detrás (en inglés *back*), clip y pared (en inglés *wall*) y los participantes tenían que encontrar una palabra (papel, en inglés *paper*) que estuviera asociada con todas las palabras, es decir, formar palabras compuestas, en inglés: *paperback*, *paperclip* y *wallpaper*. Cuando la tenían, presionaban un

botón para indicar que habían encontrado la palabra y así registrar el momento donde se producía el *insight*. Si no respondían en 20 segundos se presentaba la primera letra de la palabra como pista. Al finalizar, los participantes tenían que indicar el grado de *insight* en una escala Likert del 0 al 5. Los resultados con la resonancia magnética funcional mostraron que las siguientes áreas presentaban una alta conectividad en los problemas resueltos con alto *insight* (véase la Figura 9.9):

- El núcleo accumbens, un área relacionada con el refuerzo o recompensa pero también con la integración y comunicación de información cortical y subcortical.
- El área tegmental ventral relacionada con el sistema dopaminérgico, asociado a su vez con el sistema de recompensa.
- El hipocampo relacionado con la memoria.
- Y la corteza prefrontal dorsolateral relacionada con la memoria de trabajo.

Esta red cerebral que se activa con el *insight* indicaría que esta respuesta se relaciona con la memoria de trabajo necesaria para su resolución, la memoria a largo plazo necesaria para encontrar la palabra adecuada, pero además el hallazgo de la propia palabra supone una recompensa para las personas.

Finalmente, otra forma de conocer que hay varias áreas conectadas es a través de su ritmo o frecuencia, es decir, las neuronas se disparan (o se comunican) en el mismo momento temporal y cuando esto ocurre se dice que están sincronizadas («conectadas») pues tienen el mismo ritmo o frecuencia. Sandkühler y Bhattacharya (2008) presentaron la misma tarea anterior,

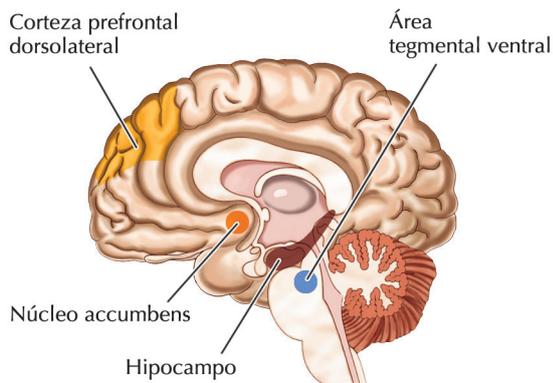


Figura 9.9

Representación de la red cerebral del *insight*.

pero en esta ocasión utilizaron la electroencefalografía y encontraron una actividad gamma (40-48 Hz) en la región parieto-occipital que se relaciona con una demanda de atención. Esto indicaría que las personas atienden en primer lugar al problema y este proceso parece que se relaciona con una alta sincronización entre la región occipital y parietal. Seguidamente, se mostró una actividad theta (4-8 Hz) en esta misma región (parieto-occipital) que se relaciona con la memoria episódica. Esto indicaría que los participantes tratan de resolver el problema accediendo a su memoria. Observamos así que la actividad theta no es exclusiva de estar dormido como se ha comentado en el Cuadro 9.3. De hecho, el ritmo theta se relaciona con la memoria y codificación de estímulos que posteriormente son recordados. Finalmente, se presentó una actividad gamma (40-50 Hz) en la región parieto-occipital que se relacionó con una mayor atención para las respuestas correctas al compararlas con las incorrectas (véase la Figura 9.10).

5. BASES NEUROANATÓMICAS DE LAS TEORÍAS DEL RAZONAMIENTO

Se ha recurrido a la neurociencia para resolver cuestiones que no se han aclarado en la psicología cognitiva. Por ejemplo, existen dos teorías principales del razonamiento y las investigaciones siguen orientándose en la actualidad a falsar una de ellas, pero sin éxito. Según la teoría de reglas, el razonamiento se basa en reglas y predice que se activaría el hemisferio izquierdo relacionado con el lenguaje (Braine y O'Brien, 1998; Rips, 1994). En cambio, la teoría de los modelos mentales defiende que las personas no usan reglas para pensar, sino que utilizan modelos mentales que son representaciones visoespaciales (no verbales), de ahí que se predice la mayor activación del hemisferio derecho en el razonamiento (Johnson-Laird, 1994). De esta forma, se espera que se activen diferentes áreas del cerebro cuando se presenta un problema de razonamiento y de este modo nos permitiría discriminar entre teorías, incluso aceptar una y rechazar otra, pero también observar si siempre se activa una estructura o no y modificar la teoría o adoptar una alternativa más apropiada. De esta manera, podemos señalar que la neurociencia no explica cómo las personas pensamos, lo que hace es indicar hasta qué punto el cerebro se ajusta al modelo teórico vigente.

En el capítulo de razonamiento silogístico estudiamos las etapas que propone la teoría de los modelos mentales para resolver un silogismo. Knauff (2009) estudió si había un sustrato cerebral que se pudiera rela-

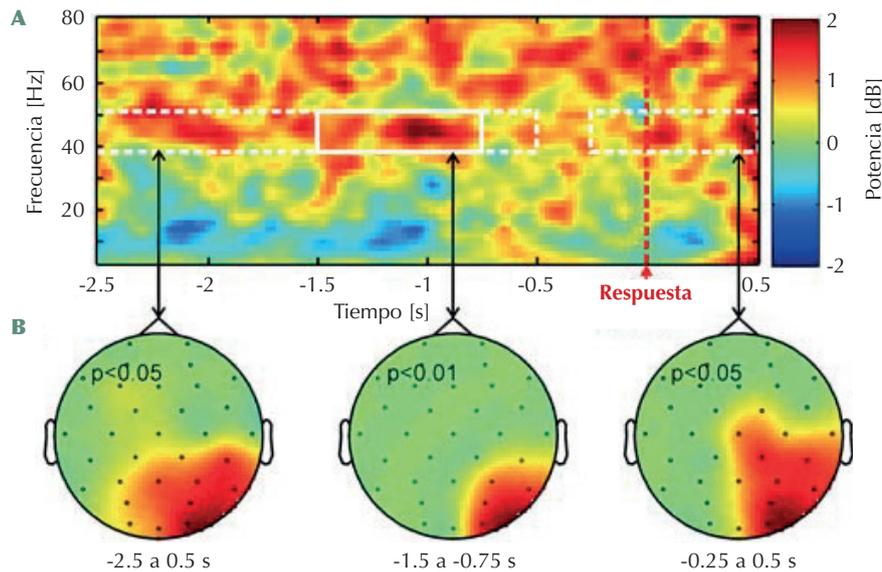


Figura 9.10

A) Representación de la diferencia de frecuencias entre los problemas correctos e incorrectos en el tiempo. B) Representación de la diferencia de frecuencias entre los problemas correctos e incorrectos en tres momentos temporales diferentes. La primera representación del cerebro (izquierda) corresponde a 2,5 y 0,5 segundos antes de la respuesta, la siguiente (centro) a 1,5 y 0,75 segundos antes de la respuesta y la última representación (derecha) corresponde a 0,25 segundos antes de la respuesta y 0,5 segundos después de la respuesta. En todas las representaciones se observa la actividad gamma (40-50 Hz) en el área parieto-occipital. Figura extraída Sandkühler y Bhattacharya (2008).

cionar con estas etapas. Con este fin, el autor presentó silogismos transitivos como:

- A está a la izquierda de B.
- B está a la izquierda de C.
- A está a la izquierda de C.

Los resultados mostraron que mientras las personas leían la primera premisa «A está a la izquierda de B» se activaba el lóbulo occipitotemporal bilateral, posiblemente debido a la representación de una imagen mental de los dos objetos basándose en su conocimiento sobre el lenguaje y su conocimiento general almacenados en la memoria. Knauff llamó a esta etapa «*construcción de una imagen mental*».

Durante la lectura de la segunda premisa «B está a la izquierda de C», en la que los participantes tenían que integrar el tercer elemento dentro de los dos primeros y enunciar una conclusión tentativa, además de activar el lóbulo occipitotemporal, se activó la corteza prefrontal anterior. Knauff llamó a esta segunda etapa «*transformación de una imagen a un modelo*».

En la conclusión «A está a la izquierda de C» se activó la corteza prefrontal dorsolateral, relacionada con la memoria de trabajo y el lóbulo parietal pos-

terior, relacionado con las relaciones espaciales. En este momento la actividad del lóbulo occipital desapareció. Knauff llamó a esta tercera etapa «*procesamiento de modelos mentales*» donde el sujeto busca modelos mentales alternativos de las premisas que puedan falsar la conclusión tentativa. Si no los encuentra, entonces la conclusión es válida. Si los encuentra, entonces regresa a la segunda etapa para seguir probando conclusiones tentativas mediante la búsqueda de contraejemplos en la tercera etapa (véase la Figura 9.11).

La desaparición de la activación del lóbulo occipital en el momento de la inferencia parece indicar que las representaciones visuales no contribuirían a este momento. Ahora bien, muchos son los estudios que han destacado que las representaciones visuales facilitan el procesamiento cognitivo general y específicamente el razonamiento transitivo (véase el punto sobre los modelos basados en imágenes mentales del capítulo sobre razonamiento silogístico; De Soto, London y Handel, 1965), pero pocos han señalado que las representaciones visuales también pudieran interferir o entorpecer el razonamiento (Knauff y Johnson-Laird, 2002; Orenes y Santamaría, 2014). En este último sentido, Knauff, Fangmeier, Ruff y Johnson-Laird (2003)

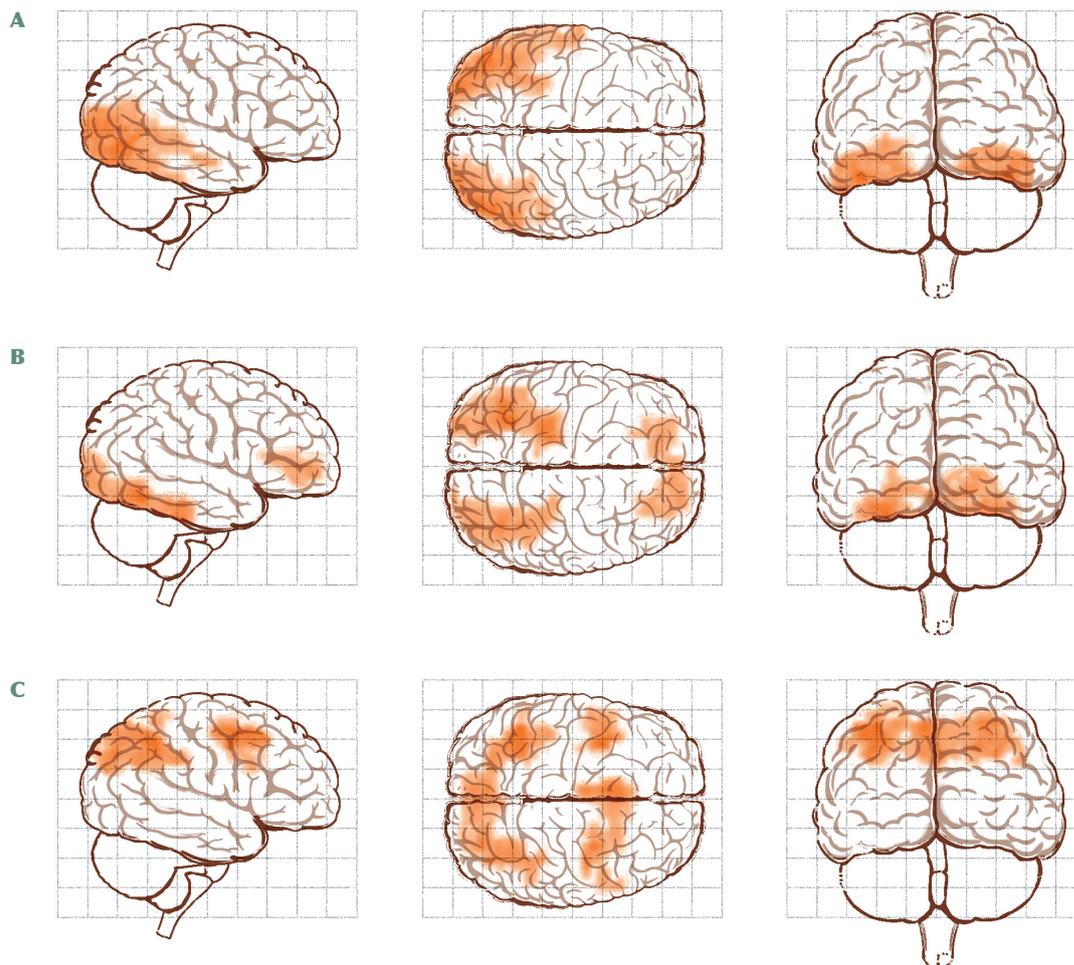


Figura 9.11

Representación de las áreas que se activan en las tres etapas del razonamiento silogístico. **A)** La primera etapa corresponde al procesamiento de la primera premisa y se activa el lóbulo occipitotemporal bilateral. **B)** La segunda etapa corresponde a la integración de la segunda premisa y se activa además del lóbulo occipitotemporal, la corteza prefrontal anterior. **C)** En la tercera etapa se activa la corteza prefrontal dorsolateral y el lóbulo parietal posterior. Figura extraída de Knauff (2009).

estudiaron el papel de la información visual en la resolución de silogismos transitivos. Para ello presentaron cuatro tipos diferentes de contenido:

- *El contenido visoespacial:* El gato está arriba del perro; El perro está abajo del caballo.
- *El contenido visual:* El gato está más limpio que el perro; El perro está más sucio que el caballo.
- *El contenido espacial:* El gato vive más al norte que el perro; El perro vive más al sur que el caballo.
- *Y el contenido control:* El gato es mejor que el perro; El perro es peor que el caballo.

Los participantes tenían que indicar si la conclusión, por ejemplo, «¿es el gato mejor que el caballo?»

se sigue de las premisas. Los resultados conductuales (tiempo de reacción y número de errores) mostraron que los participantes eran más lentos y cometían más errores en la condición con contenido visual comparado con las condiciones de los otros contenidos (visoespacial, espacial y control). Este enlentecimiento y peor ejecución que se produce en la condición con contenido visual no se ha observado con personas ciegas de nacimiento (Knauff y May, 2006). Los resultados del estudio (Knauff, Fangmeier, Ruff y Johnson-Laird, 2003) con resonancia magnética funcional mostraron que las personas activaron para los cuatro tipos de contenido el giro temporal medial izquierdo, relacionado con la memoria y el lóbulo parietal derecho, relacionado con el razonamiento. Los autores concluyeron que la

estructura principal del razonamiento es el lóbulo parietal y, por tanto, la representación visual no parece explicar el razonamiento. La teoría de los modelos mentales ha destacado que el razonamiento se basa en modelos mentales que son fundamentalmente representaciones visoespaciales. En cambio, Knauff (2013) defiende que el razonamiento sería más espacial que visual dado que el lóbulo parietal bilateral se activa en el razonamiento mientras que el lóbulo occipital lo hace exclusivamente cuando el contenido es visual.

Recientemente, nuevas evidencias con la técnica de estimulación magnética transcraneal han corroborado esta hipótesis. Por un lado, Ragni, Franzmeier, Maier y Knauff (2016) presentaron silogismos transitivos indeterminados usando la estimulación magnética transcraneal. Ya hemos comentado que esta técnica altera la actividad de una zona del cerebro y se observan sus consecuencias conductuales. En este caso, los autores modificaron la actividad del lóbulo parietal superior derecho encontrando más errores comparado con el grupo control donde modificaban el vértex, área del cerebro que no se relaciona con el razonamiento. Estos resultados indican la importancia del lóbulo parietal en el razonamiento, pues su alteración provoca peores resultados en el razonamiento. Por otro lado, Hamburger y colaboradores (2018) presentaron silogismos transitivos con contenido visual y no visual mientras se aplicó la estimulación en la corteza visual primaria, que se relaciona con el procesamiento de la información visual (grupo experimental) o en el vértex (grupo control), que no tiene ninguna relación con el procesamiento visual (véase la Figura 9.12). Los resultados mostraron que al alte-

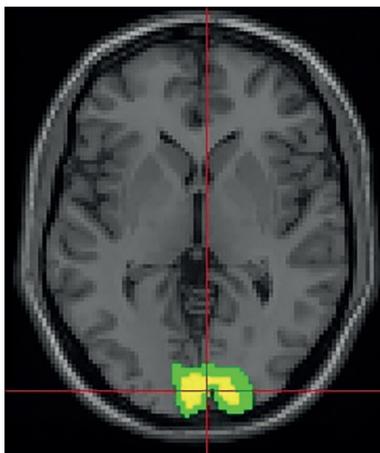


Figura 9.12

Representación de la corteza visual primaria en colores amarillo y verde. Figura extraída de Hamburger y colaboradores (2018).

rar la actividad de la corteza visual primaria (grupo experimental) se obtenían mejores resultados para los silogismos con contenido visual comparado con el no visual. Este hallazgo corrobora que las representaciones visuales pueden enlentecer la resolución de los silogismos transitivos, pero su alteración o interferencia mejora su resolución.

Los estudios analizados hasta ahora apoyan una correspondencia entre la teoría de los modelos mentales y el sustrato neural, pero una revisión más amplia de la literatura presenta resultados dispares, que no permiten corroborar una teoría frente a la otra. Vendetti, Johnson, Lemos y Bunge (2015) presentaron también silogismos transitivos mostrando figuras geométricas a tiempo real. Por ejemplo:

- Un cuadrado encima de un triángulo.
- Un triángulo encima de un círculo.
- Un cuadrado encima de un círculo.

Las figuras se podían presentar a la derecha o a la izquierda del campo visual y se observó mejores resultados para el hemisferio izquierdo indicando su mayor contribución en el razonamiento transitivo. Este hallazgo corrobora la teoría de reglas, según la cual, el razonamiento se basa en reglas sintácticas relacionadas con el hemisferio izquierdo.

Estos resultados contradictorios también se han encontrado en el razonamiento condicional. Por un lado, Noveck, Goel y Smith (2004) querían estudiar si el sustrato neural que se activa cuando se resuelve un condicional se asocia a la teoría de los modelos mentales o a la teoría de reglas. Para tal fin, los autores presentaron condicionales (por ej., si hay un cuadrado negro, entonces hay un círculo amarillo) y examinaron el modus ponens:

- Si hay un cuadrado negro, entonces hay un círculo amarillo.
- Hay un cuadrado negro.
- Hay un círculo amarillo.

Y el modus tollens:

- Si hay un cuadrado negro, entonces hay un círculo amarillo.
- No hay un círculo amarillo.
- No hay un cuadrado negro.

Los participantes tenían que indicar si el tercer enunciado se seguía o no de las premisas. Los resultados mostraron activación del lóbulo frontoparietal izquierdo para ambos tipos de inferencias lo que corroboraría la teoría de reglas y la contribución de las

áreas relacionadas con el lenguaje en el razonamiento. También encontraron una mayor activación de la corteza prefrontal derecha para el *modus tollens*. La corteza prefrontal derecha se ha asociado a la detección de conflictos que podría relacionarse con el *modus tollens*, pero también podría relacionarse con una mayor carga en la memoria de trabajo.

Por otro lado, Knauff, Mulack, Kassubek, Salih y Greenlee (2002) también examinaron el *modus ponens* y el *modus tollens* usando condicionales. Por ejemplo:

- Si el hombre está enamorado, entonces le gusta la pizza.
- El hombre está enamorado.
- Se sigue que ¿el hombre le gusta la pizza?

Los participantes tenían que responder a la pregunta y los resultados mostraron una activación bilateral en el lóbulo parietal y en la corteza visual de asociación. Estos datos indican que el razonamiento es espacial, corroborando así la teoría de los modelos mentales. La no activación de la corteza visual primaria muestra nuevamente la no implicación de las representaciones visuales en el razonamiento. También observaron activación en la corteza prefrontal bilateral. Según los autores, la información se procesa en el lóbulo parieto-occipital mientras que se mantiene en la corteza prefrontal (especialmente la derecha), relacionada con la memoria de trabajo.

Ante la multitud de estudios de razonamiento con diversos resultados, Prado, Chadha y Booth (2011) se propusieron revisar las investigaciones de razonamiento y estudiaron si los sustratos cerebrales podrían confirmar alguna teoría del razonamiento. Para ello realizaron un metaanálisis. En un metaanálisis se revisa la literatura que hay sobre un tema y se analiza los resultados que mayoritariamente se repiten en todos ellos. En este sentido, Prado, Chadha y Booth (2011) seleccionaron 28 estudios de neuroimagen sobre razonamiento publicados entre 1997 y 2010 y analizaron las áreas que se activaron en más estudios. En este metaanálisis los autores encontraron que el área que mayoritariamente se activaba en estos estudios seleccionados era el lóbulo frontoparietal izquierdo. Este hallazgo corrobora la teoría de reglas (Braine y O'Brien, 1998; Rips, 1994) por la dominancia del hemisferio izquierdo en el razonamiento. Ahora bien, los autores también señalaron que los resultados son diferentes según el tipo de razonamiento.

En el razonamiento condicional:

- Si hay una A, entonces hay una B.
- Hay una A.
- Hay una B.

Se activó el giro precentral izquierdo, el lóbulo parietal posterior izquierdo y el giro frontal medial (véase la Figura 9.13). Ante estos resultados no se podría apoyar una teoría frente a otra. Por un lado, el giro frontal medial se relaciona con el mantenimiento de las reglas abstractas en la memoria y además la dominancia del hemisferio izquierdo apoyaría la teoría de reglas. Por otro lado, el lóbulo parietal se relaciona con las representaciones visoespaciales que apoyarían la teoría de los modelos mentales.

En el razonamiento silogístico categórico:

- Todos los A son B.
- Todos los B son C.
- Todos los A son C.

Se activó el giro frontal inferior izquierdo y los ganglios basales izquierdos (véase la Figura 9.14). Según estos resultados, el razonamiento silogístico categórico dependería más de las reglas sintácticas asociadas al hemisferio izquierdo y, por tanto, corroboraría la teoría de reglas.

En el razonamiento silogístico transitivo:

- A está a la izquierda de B.
- B está a la izquierda de C.
- A está a la izquierda de C.

Se activó el giro frontal medial bilateral y el lóbulo parietal posterior bilateral. Estos resultados serían consistentes con la teoría de los modelos mentales que ha destacado la dominancia del hemisferio derecho, así como el papel del lóbulo parietal relacionado con la cognición espacial. Otros metaanálisis más recientes también han destacado el papel del lóbulo parietal en

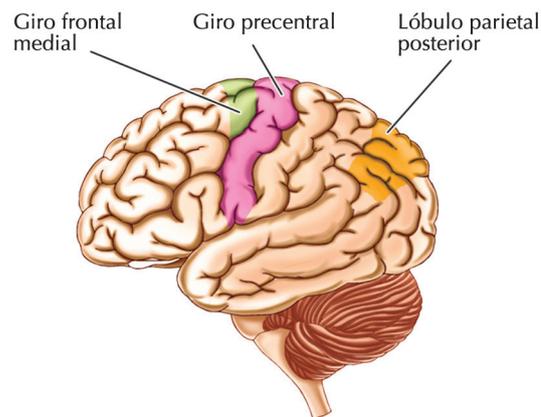


Figura 9.13

Representación de las áreas cerebrales relacionadas con el razonamiento condicional.

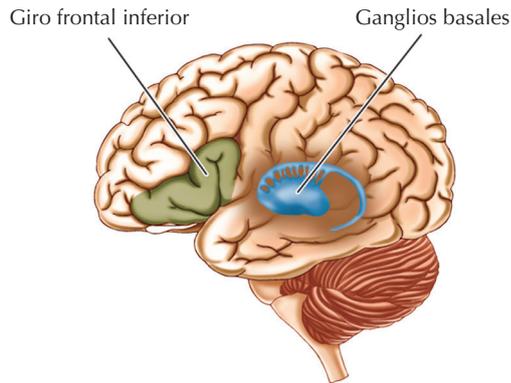


Figura 9.14

Representación de las áreas cerebrales relacionadas con el silogismo categórico.

el razonamiento transitivo (Ragni, Franzmeier, Wenzel y Maier, 2014; Wertheim y Ragni, 2018).

Por otro lado, Wendelken (2015) realizó otro metaanálisis con el objetivo de encontrar la función del lóbulo parietal posterior en el razonamiento. Para ello, seleccionó un número amplio de investigaciones sobre el razonamiento, la atención, la memoria de trabajo, la capacidad visoespacial, la semántica, la fonología, etc. Todos estos estudios tenían en común que se activaba el lóbulo parietal posterior. Ya hemos dicho que esta área se relaciona con procesos analíticos, pero también con la atención espacial, las matemáticas, la memoria de trabajo, la memoria a largo plazo, así como el lenguaje. Entonces, la pregunta que se hizo este autor fue si el razonamiento es la suma de estos procesos más básicos o si es un proceso independiente. Los resultados mostraron que el hemisferio izquierdo se activaba más que el derecho en tareas de razonamiento. Igualmente se activaba más el hemisferio izquierdo en la fonología, mientras que se activaba el hemisferio

derecho en las tareas de atención y la capacidad visoespacial y se activaban ambos hemisferios en tareas de la memoria de trabajo. También se activaba más la estructura media y posterior del lóbulo parietal frente a la anterior para tareas de razonamiento. La corteza parietal posterior relacionada con el razonamiento se superpone especialmente con el cálculo de las matemáticas y en menor medida con la atención, la capacidad visoespacial, la fonología y la memoria de trabajo. De hecho, este autor señala que el lóbulo intraparietal sería un área exclusivamente del razonamiento (véase la Figura 9.15). Puesto que Wendelken (2015) identifica el área del razonamiento con el cálculo matemático y probabilístico, concluye que la teoría que mejor explicaría el razonamiento sería la teoría de la probabilidad que defiende que el razonamiento es probabilístico y siempre basado en la incertidumbre (Oaksford, 2015).

Ante estos resultados tan diversos según el tipo de razonamiento, podemos concluir que cada teoría ha destacado un área clave en el razonamiento según se relacione con las reglas sintácticas, los modelos mentales o la probabilidad, pero quizás sus hipótesis sean reduccionistas y sería necesario proponer nuevas hipótesis atendiendo a la concepción de redes cerebrales. En la actualidad, no hay datos suficientes para falsar alguna teoría con los estudios de neurociencia. Lo que los resultados parecen indicar es que hay varios mecanismos neuronales que podrían explicar el razonamiento y estos se asocian con el tipo de problema que se presente, pero no se da respuesta sobre la naturaleza del pensamiento.

6. BASES NEUROANATÓMICAS DEL PENSAMIENTO Y LA EMOCIÓN

Clásicamente, la emoción y la razón se han mostrado enfrentadas, pero la literatura parece indicar que

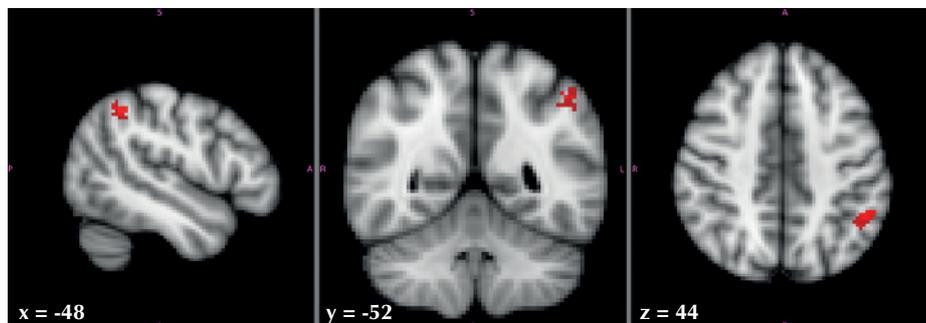


Figura 9.15

Representación del lóbulo intraparietal, estructura asociada exclusivamente con el razonamiento según Wendelken (2015).

la emoción podría mejorar el pensamiento, al menos en algunos casos. Por ejemplo, Bechara, Damasio y Damasio (2000) presentaron la tarea de Iowa (*Iowa Gambling Task*; Bechara, Damasio, Damasio y Anderson, 1994) que consistía en mostrar en el ordenador cuatro cartas y los participantes tenían que elegir una. Seguidamente se indicaba la ganancia o la pérdida de la carta elegida. Las cartas A y B tenían ganancias y pérdidas muy altas comparadas con las cartas C y D. Los participantes eran pacientes que tenían una lesión en la corteza prefrontal ventromedial. Estos pacientes comenzaron eligiendo las cartas A y B igual que el grupo control, que no tenía ninguna lesión. Con el transcurso del juego, los participantes del grupo control se daban cuenta que eran mejores las cartas C y D pues aunque ganaban menos, también perdían menos y a largo plazo se beneficiaban; en cambio los pacientes no cambiaron sus respuestas a lo largo del experimento. Según los autores, estos pacientes podrían saber que las cartas C y D son mejores que las cartas A y B a largo plazo, pero su elección podría deberse a que se centraban en las ganancias inmediatas e ignoraban las pérdidas. Además, según los autores, al ser incapaces de sentir emociones negativas podrían ser insensibles a los castigos. En palabras de García-Madruga, Santamaría y Moreno (2016), estos pacientes son hipersensibles a las recompensas o bien, insensibles a los castigos. Vemos entonces que la emoción (en este caso relacionada con el refuerzo o la recompensa) puede mejorar la toma de decisiones y cuando el área relacionada con el procesamiento emocional está afectada, el rendimiento en este tipo de problemas disminuye.

Por otro lado, desde la teoría de la hiperemoción se propone que una emoción podría promover la atención de todas las posibilidades de un argumento lo que mejoraría el razonamiento. A su vez, dicho razonamiento reforzaría la emoción, que provocaría nuevamente un nuevo hilo de pensamiento y así sucesivamente. Es decir, la emoción afecta al razonamiento y viceversa (Johnson-Laird, Mancini y Gangemi, 2006). Por ejemplo, en el estudio de Gangemi, Mancini y Johnson-Laird (2013) se presentaron silogismos con contenido neutro y depresivo. Un ejemplo de éste último sería:

- Cuando pienso en el futuro, me siento triste.
- Cada vez que me siento triste, soy muy pesimista.
- Cuando pienso en el futuro, soy muy pesimista.

La tarea consistía en indicar la validez del argumento, es decir, si el tercer enunciado se seguía de las dos premisas. Los resultados mostraron que las personas con depresión tenían más respuestas correctas en los silogismos con contenido depresivo que un grupo

control. En un segundo experimento de este estudio, estos mismos autores encontraron resultados similares con personas que sufrían ansiedad al observar que razonaban mejor cuando el contenido era sobre sus preocupaciones comparado con un grupo control. Vemos, así, cómo la emoción puede mejorar el razonamiento, pero esta mejora no es del razonamiento en términos generales, sino que parece estar unida a que el contenido sea congruente con los aspectos emocionales que evoca. Numerosos estudios han confirmado esta hipótesis con personas que vivieron el atentado de Londres en 2005 (Blanchette, Richards, Melnyk y Lavda, 2007), veteranos de guerra (Blanchette y Campbell, 2012) y víctimas de abuso sexual (Blanchette y Caparos, 2013).

6.1. Bases neuroanatómicas de la emoción en el razonamiento

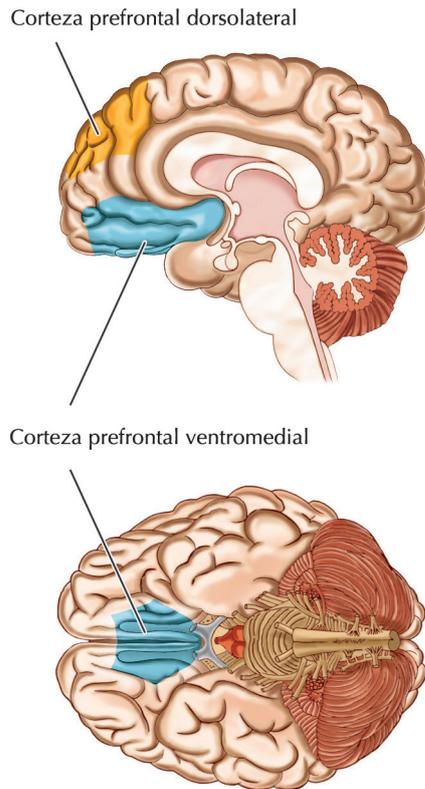
Después de esta breve introducción sobre las emociones y el pensamiento, nos vamos a centrar en su relación en estudios en los que se presentan tareas de razonamiento y se registran los resultados con técnicas de neuroimagen. Con este objetivo, Goel y Dolan (2003) se plantearon estudiar el efecto del contenido emocional en el silogismo. Para ello, presentaron silogismos con contenido emocional:

- Algunas guerras no son injustificadas.
- Todas las guerras suponen asesinatos a personas.
- Algunos asesinatos a personas no son injustificados.

Y silogismos con contenido neutro:

- Algunos canadienses no son niños.
- Todos los canadienses son personas.
- Algunas personas no son niños.

La tarea de los participantes era indicar si el tercer enunciado se seguía de las dos premisas, es decir, si era válido o inválido. Los resultados conductuales (tiempo de reacción y aciertos) indicaron mejores resultados para los contenidos emocionales comparado con los neutros. Los resultados con la resonancia magnética funcional mostraron que los silogismos con contenido emocional activaron la corteza prefrontal ventromedial, relacionada con el procesamiento emocional. Esta área está conectada con áreas subcorticales relacionadas con la emoción como es el caso de la amígdala. Los resultados de los silogismos con contenido neutro activaron la corteza prefrontal dorsolateral izquierda relacionada con la memoria de trabajo (véase la Figura 9.16).

**Figura 9.16**

Representación de la corteza prefrontal ventromedial y la corteza prefrontal dorsolateral.

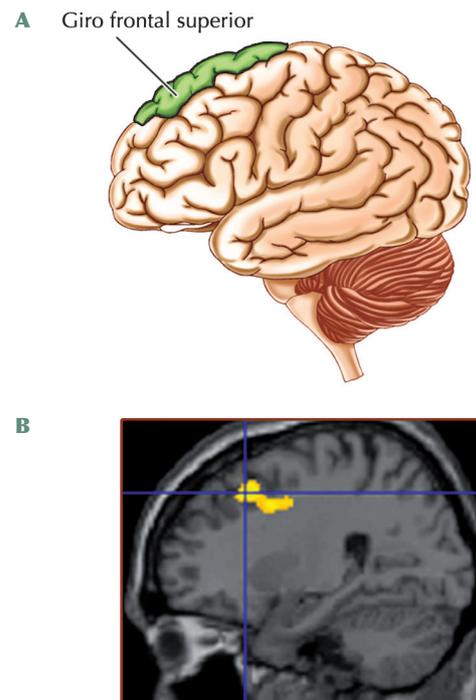
En otro estudio, Smith, Balkwill, Vartanian y Goel (2015) presentaron ochenta silogismos con contenido neutro de forma auditiva. Cuarenta se presentaron con tono neutro, veinte con tono triste y veinte con tono de ira. Los mejores resultados se observaron para la condición de ira en la que se activó el giro frontal superior derecho asociado con la atención selectiva. Parece así que la ira podría aumentar la atención y consecuentemente mejorar la ejecución del razonamiento (véase la Figura 9.17).

Por otra parte, Blanchette, Gavigan y Johnson (2014) dan un paso más y señalan que las emociones que afectan al razonamiento son aquellas que son relevantes en relación con el contenido, es decir, cuando la emoción y el contenido son semánticamente similares. Para comprobar su hipótesis presentaron un condicional (por ejemplo, Si Sally tiene hambre, entonces comerá) seguido de una de las siguientes inferencias:

- *Modus ponens*: Sally tiene hambre, entonces está comiendo.
- *Modus tollens*: Sally no está comiendo, entonces no tiene hambre.

- *Negación del antecedente*: Sally no tiene hambre, entonces no está comiendo.
- *Afirmación del consecuente*: Sally está comiendo, entonces tiene hambre.

La tarea consistía en indicar si la inferencia era o no válida. Al mismo tiempo que presentaron los condicionales mostraron imágenes relevantes para el contenido (o relacionadas con el contenido del condicional, como puede ser una persona con anorexia o una hamburguesa, ambos estímulos relacionados con la comida) o irrelevantes (es decir, sin relación con el contenido del condicional, como puede ser una persona toxicómana o dos delfines). Además, manipularon el grado de emocionalidad y presentaron imágenes emocionales, como una persona con anorexia y una persona toxicómana e imágenes neutras como una hamburguesa y dos delfines. Los resultados mostraron que las respuestas correctas disminuían y eran más lentas cuando presentaron imágenes irrelevantes emocionales (una persona tirada en el suelo por el consumo de droga) frente a imágenes irrelevantes neutras (dos delfines). Este hallazgo indicaría que el procesamiento de las emociones requiere de una ma-

**Figura 9.17**

A) Representación del giro frontal superior. B) La figura inferior ilustra la activación del giro frontal superior en el estudio de Smith y colaboradores (2015).

yor atención que podría perjudicar el procesamiento. Este mismo efecto lo estudiamos en el procesamiento de las representaciones visuales que al requerir de un mayor procesamiento también podrían perjudicar el razonamiento silogístico transitivo. En cambio, no había diferencias en las inferencias cuando las imágenes eran congruentes, independientemente de que fuesen emocionales (una persona con anorexia) o neutras (una hamburguesa). Este último resultado indicaría que las emociones cuando son relevantes para el contenido facilitarían su procesamiento puesto que se elimina la interferencia encontrada previamente en las imágenes emocionales irrelevantes.

Por otro lado, se midió también la conductancia de la piel y no había diferencias en *arousal* entre las condiciones relevante emocional y relevante neutra. Sin embargo, la condición irrelevante emocional mostró mayor *arousal* comparada con la irrelevante neutra. Esta mayor conductancia de la piel en la condición irrelevante emocional podría deberse a su dificultad ya que presenta menos número de respuestas correctas y mayor tiempo en sus respuestas. Parece así que la emoción perjudica el razonamiento puesto que los estímulos emocionales requieren de mayor atención y procesamiento. Ahora bien, cuando las emociones son relevantes para el contenido mejoran su procesamiento. En palabras de los autores, la relevancia es la que modula el papel de la emoción en el razonamiento.

6.2. Bases neuroanatómicas de la emoción en la toma de decisiones

Hemos visto en el apartado anterior como la información emocional requiere de mayor atención y va a facilitar el razonamiento siempre y cuando la emoción sea congruente con el contenido. En los casos en los que el contenido emocional sea irrelevante para el razonamiento podría interferirlo. En el punto anterior nos hemos centrado fundamentalmente en las emociones primarias y en este apartado nos vamos a centrar en las emociones secundarias más complejas, como son los valores morales y el sentido de la justicia, las cuales parecen interferir en las decisiones racionales. Veamos algunos ejemplos. Greene, Sommerville, Nystrom, Darley y Cohen (2001) presentaron las dos versiones del problema conocido del tren:

- *Versión A: Impersonal*

Hay un tren que se acerca a gran velocidad por una vía y está fuera de control. A cien metros de esa misma vía se encuentran cinco personas. La única posibilidad de que vivan es que tú le des a

un botón para que cambie la dirección del tren a una vía diferente donde hay una única persona. ¿Pulsarías el botón?

- *Versión B: Personal*

Hay un tren que se acerca a gran velocidad por una vía y está fuera de control. A cien metros de esa misma vía se encuentran cinco personas. La única posibilidad de que vivan es que tú tires a un hombre corpulento por un puente y pare el tren. ¿Tirarías al hombre?

La mayoría de las personas responden afirmativamente en la versión A, mientras que se niegan en la versión B. Según los autores, las personas son racionales en la versión A al preferir que muera una persona frente a cinco, en cambio, las personas muestran una actitud moral en la versión B ya que no se puede matar a las personas. Los autores encontraron que se activaba el giro frontal medio derecho y el lóbulo parietal bilateral en la versión A, ambas estructuras relacionadas con la memoria de trabajo, mientras que se activaba el giro frontal medial, la corteza cingulada posterior y el giro angular bilateral en la versión B, áreas relacionadas con la emoción, lo que indicaría que sería la emoción la que inclinaría a una decisión más moral que racional (véase la Figura 9.18).

Otro problema conocido dentro de la toma de decisiones es el juego del ultimátum. Este juego consiste en que un jugador A tiene que repartir una cantidad de dinero a otro jugador B. Si el jugador B rechaza la oferta, ningún jugador gana nada y si la acepta se procede a hacer el reparto. Generalmente las personas aceptan las propuestas que son justas, es decir, aquellas donde se reparte el dinero a partes iguales. Esta respuesta es irracional porque si uno no tiene nada y alguien con 10 euros le da 1 euro tiene una situación de ganancia. Sin embargo, las personas prefieren no ganar nada a aceptar una oferta injusta donde el que reparte se queda con más dinero. Sanfey, Rilling, Aronson, Nystrom y Cohen (2003) presentaron este juego y encontraron que cuando a las personas se les presenta una situación justa, 10 euros a repartir 5 y 5, aceptaban la oferta, mientras que cuando era injusta, rechazaban la oferta. Una situación injusta era cuando el jugador A ofrecía uno o dos euros al jugador B, mientras que el jugador A se quedaba con nueve u ocho euros. Lo interesante fue que los autores también manipularon cuando el jugador A era un ordenador o una persona y observaron que los participantes aceptaban más las ofertas cuando el jugador A era un ordenador que cuando era una persona. Parece así que las personas entendemos que una situación es más injusta si la ofrece otra persona que cuando la ofrece un ordenador. Los resultados

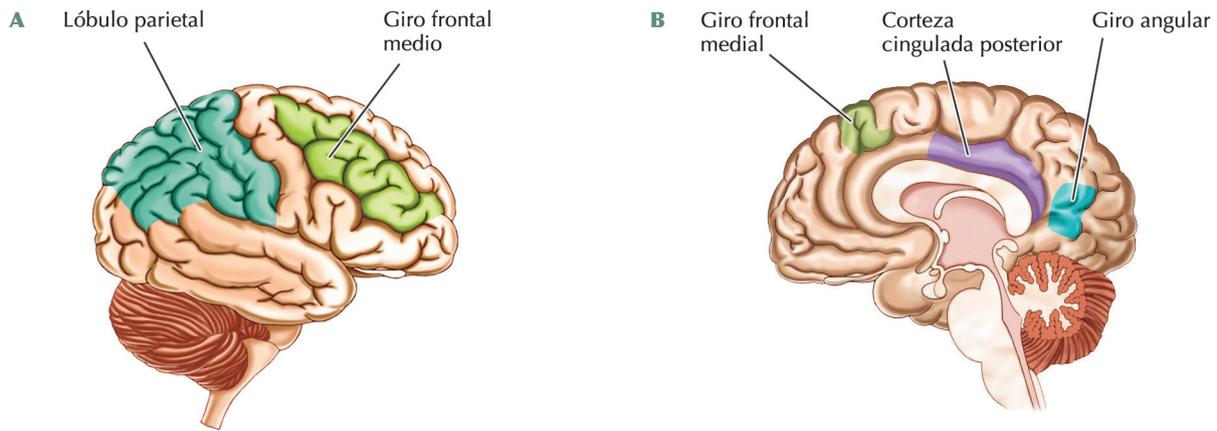


Figura 9.18

Representación de las áreas que se activan durante la resolución del problema del tren. **A)** La figura de la izquierda corresponde a la versión impersonal. **B)** La figura de la derecha corresponde a la versión personal.

de la resonancia magnética funcional mostraron que cuando se comparaban las situaciones injustas con las justas se activaba más la corteza prefrontal dorsolateral, la corteza cingulada anterior y la ínsula anterior bilateral (véase la Figura 9.19). La corteza prefrontal dorsolateral se mantenía muy activa, tanto cuando se aceptaba como cuando se rechazaba la oferta lo que indicaría que su activación se relacionaba con la propia carga cognitiva de la tarea, de hecho, la corteza prefrontal dorsolateral se la relaciona con la memoria de trabajo. La corteza cingulada anterior se activa con la detección de conflictos igual que la corteza prefrontal derecha. Por último, la activación de la ínsula anterior se asocia con emociones negativas, destacando el asco y la ira (Phillips y colaboradores, 1997).

También, Koenings y Tranel (2007) presentaron el juego del ultimátum a pacientes con la corteza prefrontal ventromedial afectada y encontraron que rechazaban más ofertas injustas que un grupo control que no tenía la lesión. Esto podría estar relacionado con la falta de impulsos y la poca tolerancia a la frustración, así como su incapacidad para regular sus emociones. Por otro lado, Lempert y Phelps (2016) han encontrado que las personas cuando sienten tristeza y asco rechazan más ofertas injustas comparado con un grupo control. Estos resultados fueron corroborados en el estudio de Van 't Wout, Kahn, Sanfey y Aleman (2006) que mostraron que la respuesta de la conductancia de la piel era mayor para las ofertas injustas, así de esta forma discriminaba entre las respuestas de aceptación y rechazo. La actividad eléctrica de la piel se ha relacionado en numerosos estudios con la mayor activación de las emociones con independencia de su valencia (positiva o negativa; Vila y Guerra, 2009).

Podemos resumir entonces que las personas con una lesión en la corteza prefrontal ventromedial relacionada con la regulación de las emociones, así como las personas a las que se les induce tristeza o asco van a rechazar más ofertas injustas, y consecuentemente van a perder el dinero ofertado. Vemos, así, cómo en este caso la emoción puede interferir en una decisión racional en términos de ganancias económicas.

Un caso contrario lo vemos cuando se presenta este juego a chimpancés (Jensen, Call y Tomasello, 2007) y niños (Sally y Hill, 2006) que tienden a aceptar más ofertas injustas. Probablemente su incapacidad para ser conscientes de que la oferta es injusta les permite tomar decisiones más racionales en términos de

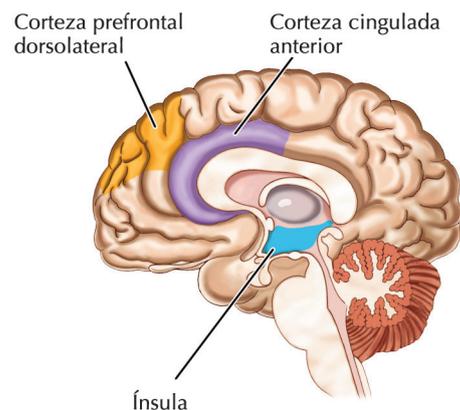


Figura 9.19

Representación de las áreas que se activan en el juego del ultimátum ante situaciones injustas frente a justas.

ganancias económicas. Otro caso diferente es el que presenta De Neys, Novitskiy, Geeraerts, Ramautar y Wagemans (2011) donde más que una evaluación moral, los autores indican que sería la memoria de trabajo, concretamente el mayor control cognitivo, lo que llevaría a aceptar más ofertas injustas. Evidentemente esta hipótesis no podría aplicarse ni a chimpancés ni a niños. Los autores, para comprobar su hipótesis presentaron el juego del ultimátum y seguidamente el Test de Reflexión Cognitiva (CRT) que consiste en tres problemas que intuitivamente tienen una respuesta, pero esta respuesta automática hay que inhibirla y reflexionar para responder correctamente. Los problemas son los siguientes:

1. La pelota y el bate de baseball cuestan 1,10 euros en total. El bate cuesta 1 euro más que la pelota. ¿Cuánto cuesta la pelota?
2. Si 5 máquinas tardan 5 minutos en realizar 5 teclados, ¿cuánto tardarán 100 máquinas en realizar 100 teclados?
3. En los alrededores de un lago hay flores. Cada día aumenta el doble de la superficie. En 48 días se completa toda la superficie, ¿cuántos días necesita para cubrir la mitad?

Las personas intuitivamente responden 10, 100 y 24, pero la respuesta correcta es 5, 5 y 47. Los resultados mostraron una correlación positiva entre la mayor aceptación de ofertas injustas y la mayor puntuación en el CRT. Esto indicaría que aquellos que aceptaban más ofertas injustas tenían mayor control cognitivo, es decir, eran más reflexivos.

En el segundo experimento de este estudio seleccionaron nueve personas que habían aceptado más ofertas injustas, y por otro lado, los nueve que habían rechazado más ofertas injustas. Ambos grupos realizaron una tarea clásica de inhibición, la tarea GO/NO-GO mientras se registraba su actividad cerebral. Esta tarea consistía en presentar 600 ensayos en los que aparecía la letra M o la W en el centro de la pantalla. En el primer caso, los participantes tenían que presionar una tecla, mientras que en el segundo caso no tenían que responder. Como en el 80% de los ensayos se presentaba una M, las personas tendían a responder, de ahí que en el 20% de los ensayos en los que aparecía la W tenían que inhibir su respuesta. Los resultados sólo mostraron diferencias entre ambos grupos en la condición de NO-GO, siendo mejores aquellos que habían aceptado más ofertas injustas, lo que indicaría nuevamente que tienen mayor capacidad de inhibición y control cognitivo. Además, este grupo mostró menor N200 en la condición de NO-GO comparado con el grupo que había rechazado más ofertas injus-

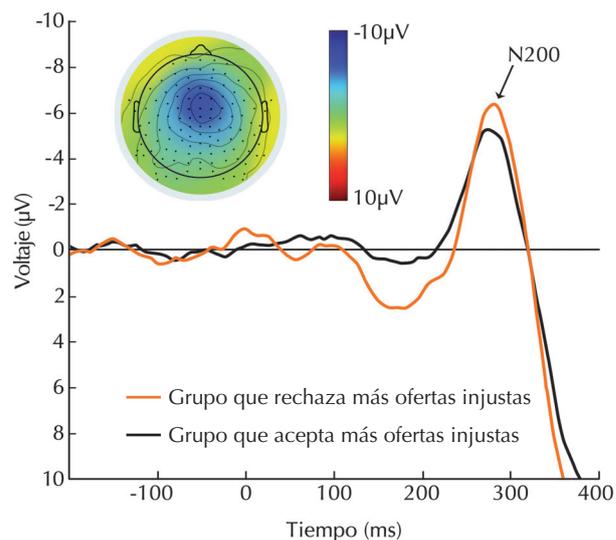


Figura 9.20

Representación del componente N200 para la respuesta NO-GO siendo mayor para los que rechazaban las ofertas injustas frente a los que las aceptaban. Figura extraída de De Neys y colaboradores (2011).

tas. Esto indicaría la mayor dificultad que tenía este segundo grupo para inhibir su respuesta comparado con el primer grupo. El componente N200, como se ha comentado previamente, se ha relacionado con las condiciones de incongruencia o dificultad, lo que indicaría que aquellos que tenían mayor dificultad para inhibir sus respuestas presentaban mayor N200 (véase la Figura 9.20). En un tercer experimento los autores presentaron el juego del ultimátum con otra tarea que consistía en que los participantes tenían que recordar la posición de una serie de puntos distribuidos en el monitor de un ordenador (véase la Figura 9.21). Los resultados mostraron que las personas aceptaban menos ofertas injustas, es decir, eran menos racionales. Parece, entonces, que aceptar ofertas injustas se relaciona con el control cognitivo, puesto que al aumentarlo como consecuencia de otra tarea las personas aceptaban menos ofertas injustas.

Por último, Van't Wout, Chang y Sanfey (2010) también presentaron el juego del ultimátum a tres grupos de participantes: a uno se le dijo que tenía que regular su emoción a través de la re-evaluación, a otro, suprimir la emoción y a un grupo control no se le dio ninguna instrucción. Los resultados mostraron que los participantes que tenían que re-evaluar sus emociones aceptaban más ofertas injustas, es decir, tenían más ganancias económicas. Además, cuando posteriormente se les pedía que fueran ellos los que hicieran la propuesta del reparto de dinero, se encontró que ha-

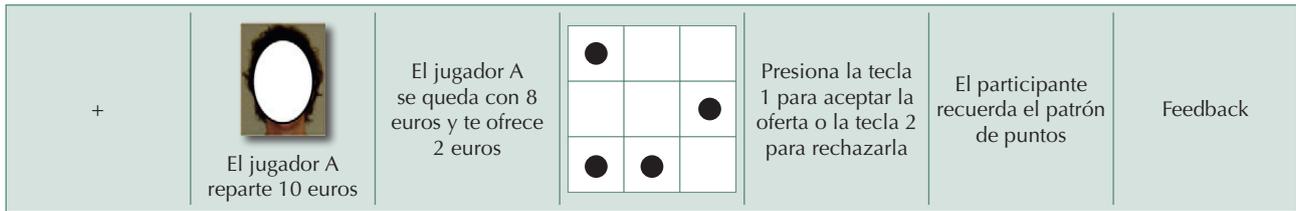


Figura 9.21

Diseño de la tarea del ultimátum con doble tarea. Figura extraída de De Neys y colaboradores. (2011). Primero se presenta un punto de fijación durante 500 ms. Seguidamente se presenta al jugador A, que puede ser una persona o una máquina. En este caso se presenta sobre la imagen un círculo para garantizar el anonimato. Después se presenta la oferta seguida de los puntos que hay que recordar. Finalmente el participante decide si acepta o rechaza la oferta y recuerda el patrón de puntos. Antes de terminar el ensayo se le da feedback al participante sobre lo que ha ganado.

cían ofertas más generosas que el resto de los grupos. La estrategia de supresión no mostraba diferencias con el grupo control. Vemos así como la regulación emocional modificaba la emoción y consecuentemente la toma de decisiones. Este es un tema importante porque se ha encontrado que la mayoría de los trastornos psicológicos cursan con un déficit en la regulación emocional así como en la toma de decisiones (Mitchell, 2011). También, otros estudios han mostrado como una lesión en las áreas del cerebro implicadas en la

regulación emocional (por ej., la corteza prefrontal ventromedial) afecta a las decisiones (Koenigs y Tranel, 2007; Moretti, Dragone y di Pellegrino, 2009). Concretamente, se podría destacar a nivel cerebral que la corteza prefrontal (fundamentalmente la corteza prefrontal ventromedial y dorsolateral) se conecta con las áreas subcorticales (por ejemplo, la amígdala) relacionadas con las emociones para inhibir su acción y regular así las emociones (Lempert y Phelps, 2016).

En este tema se ha abordado la neurociencia del pensamiento. El objetivo era conocer las áreas del cerebro que se activan durante el pensamiento. Este abordaje complementa el resto de capítulos, al relacionar e integrar los principales conceptos estudiados en la asignatura con el cerebro. Para el estudio del cerebro se hace necesario recurrir a las técnicas de la resonancia magnética funcional, la electroencefalografía, la estimulación cerebral, así como estudios de lesiones cerebrales y metaanálisis para conocer la relación que existe entre el cerebro y el pensamiento.

Un área clave en el pensamiento por sus funciones relacionadas con la atención y la memoria de trabajo sería la corteza prefrontal. La corteza prefrontal derecha se activa con los problemas poco estructurados. De hecho, hemos señalado su papel en problemas de la vida diaria, así como en la detección de conflictos. La corteza prefrontal izquierda se disocia así de la derecha al activarse fundamentalmente con problemas bien estructurados y el lenguaje. Dentro de la corteza prefrontal también se ha destacado el papel de la corteza prefrontal rostrolateral en la resolución de las analogías, la corteza prefrontal ventromedial en las emociones, mientras que la corteza dorsolateral regula las emociones por sus conexiones con estructuras subcorticales y se relaciona con la memoria de trabajo, así como con las respuestas racionales.

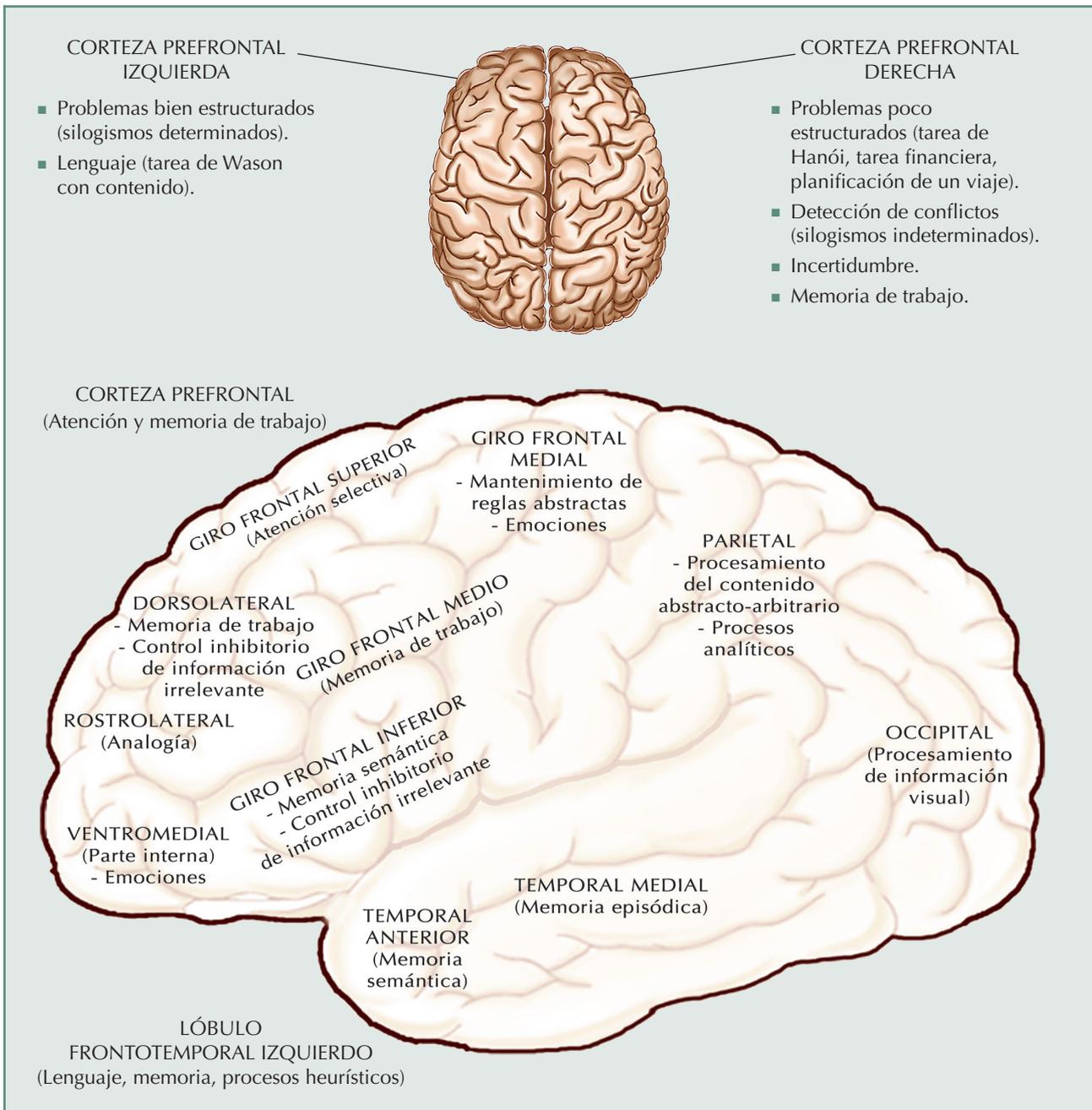
Por otro lado, se ha abordado un debate clásico en la psicología del razonamiento que pretende confirmar o falsar alguna teoría según los sustratos cerebrales. Sin embargo, estos enfoques resultan

un tanto simplistas o generalistas en el sentido de que parece que esperan que se active solamente el hemisferio izquierdo para corroborar la teoría de reglas o el hemisferio derecho para corroborar la teoría de los modelos mentales. Esto contrasta con la perspectiva de que numerosas áreas estarían activadas e interconectadas en un proceso como el pensamiento. Los resultados no falsan ninguna teoría y parece más bien que la activación depende del tipo de problema que se presente.

Aunque no se ha podido probar ninguna teoría que explique el razonamiento general, sí hay estudios que parecen demostrar una correspondencia entre ciertas áreas y algunas funciones cognitivas. Por ejemplo, hemos destacado el papel del lóbulo frontotemporal izquierdo en los procesos heurísticos y el lóbulo parietal bilateral en los procesos analíticos.

Atendiendo a estas últimas líneas del resumen parece que existe una descripción localizacionista en la que hay una correspondencia directa entre un área del cerebro y una función cognitiva, perspectiva de la que nos hemos querido alejar, aunque evidentemente no podemos negar la especialización del cerebro, especialmente para aquellos procesos más básicos. Ahora bien, el objetivo es que lleguemos a conocer las múltiples conexiones que existen entre las regiones del cerebro para tener una visión más completa de las funciones cognitivas, pero no sólo las regiones, sino también su curso temporal, es decir, qué regiones se conectan antes y cuáles después. Este objetivo se encuentra cada día más cercano gracias a los avances tecnológicos.

MAPA CONCEPTUAL



- Abril Alonso, Á., Ambrosio Flores, E., Blas Calleja, M.R., Caminero Gómez, Á., García Lecumberri, C., Pablo González, J.M. y Sandoval Valdemoro, E. (2007). *Fundamentos biológicos de la conducta*. Madrid: Sanz y Torres.
- Bechara, A., Damasio, A.R. y Damasio, H. (2000). Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 10(3), 295-307.
- Bechara, A., Damasio, A.R., Damasio, H. y Anderson, S.W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50, 7-15.
- Blanchette, I. y Campbell, M. (2012). Reasoning about highly emotional topics: syllogistic reasoning in a group of war veterans. *Journal of Cognitive Psychology*, 24 (2), 157-164.
- Blanchette, I. y Caparos, S. (2013). When emotions improve reasoning: the possible roles of relevance and utility. *Thinking and Reasoning*, 19(3-4), 399-413.
- Blanchette, I., Gavigan, S. y Johnston, K. (2014). Does emotion help or hinder reasoning? The moderating role of relevance. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(3), 1049-64.
- Blanchette, I., Richards, A., Melnyk, L. y Lavda, A. (2007). Reasoning about emotional contents following shocking terrorist attacks. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 13, 47-56.
- Bonnefond, M., Kaliuzhna, M., Van der Henst, J.B. y De Neys, W. (2014). Disabling conditional inferences: An EEG study. *Neuropsychologia*, 56, 255-262.
- Bonnefond, M. y Van der Henst, J.B. (2013). Deduction electrified: ERPs elicited by the processing of words in conditional arguments. *Brain and Language*, 124, 244-256.
- Bonnefond, M., Van der Henst, J.B., Gougain, M., Robic, S., Olsen, M.D., Weiss, O. y Noveck, I. (2012). How pragmatic interpretations arise from conditionals: profiling the affirmation of the consequent argument with reaction time and EEG measures. *Journal of Memory and Language*, 67, 468-485.
- Braine, M.D.S. y O'Brien, D.P. (Eds.) (1998). *Mental logic*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cheng, P.W. y Holyoak, K.J. (1985). Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive Psychology*, 17, 391-416.
- Damasio, H., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A.M. y Damasio, A.R. (1994). The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science*, 264, 1102-1105.
- De Neys, W. y Goel, V. (2011). Heuristics and biases in the brain: Dual neural pathways for decision making. En O. Vartanian y D.R. Mandel (Eds.), *Neuroscience of Decision Making*. NY: Psychology Press.
- De Neys, W., Novitskiy, N., Geeraerts, L., Ramautar, J. y Wagemans, J. (2011) Cognitive control and individual differences in economic ultimatum decision-making. *PLoS ONE* 6(11): e27107. doi:10.1371/journal.pone.0027107
- De Soto, C. B., London, M. y Handel, S. (1965). Social reasoning and spatial paralogic. *Journal of Personality and Social Psychology*, 2(4), 513-521.
- Enríquez de Valenzuela, P. (2014). *Neurociencia cognitiva*. Madrid: Sanz y Torres.
- Evans, J.St.B.T. (1984). Heuristic and analytic processes in reasoning. *British Journal of Psychology*, 75, 451-468.
- Evans, J.St.B.T. (1989). *Bias in human reasoning: Causes and consequences*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Feldman Barrett, L. (2017). *How emotions are made: the secret life of the brain*. New York: Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company.
- Gangemi, A., Mancini, F. y Johnson-Laird, P.N. (2013). Emotion, reasoning, and psychopathology. En I. Blanchette (Eds.), *Emotion and Reasoning*. Psychology Press.
- García Madruga, J.A., Santamaría, C. y Moreno, S. (2016). Pensamiento y razonamiento. En Bajo, M.T., Fuentes, L.J., Lupiáñez, J., Rueda, M. (Eds.), *Mente y Cerebro: de la psicología experimental a la neurociencia cognitiva: Pío Tudela, una trayectoria científica*. Alianza Editorial.
- Goel, V. (2007). Cognitive Neuroscience of Thinking. En G.G. Berntson y J.T. Cacioppo (Eds.), *Handbook of Neuroscience for the Behavioral Sciences*. New York: John Wiley y Sons.
- Goel, V. (2010). Neural basis of thinking: laboratory problems versus real-world problems. *Cognitive Science*, 1, 613-621.
- Goel, V., Buchel, C., Frith, C. y Dolan, R.J. (2000). Dissociation of mechanisms underlying syllogistic reasoning. *Neuroimage*, 12(5), 504-514.
- Goel, V. y Dolan, R.J. (2003). Reciprocal neural response within lateral and ventral medial prefrontal cortex during hot and cold reasoning. *Neuroimage*, 20, 2314-2341.
- Goel, V. y Grafman, J. (1995). Are frontal lobes implicated in "planning" functions: interpreting data from the Tower of Hanoi. *Neuropsychologia*, 33, 623-642.
- Goel, V., Grafman, J., Tajik, J., Gana, S. y Danto, D. (1997). A study of the performance of patients with

- frontal lobe lesions in a financial planning task. *Brain*, 120, 1805-1822.
- Goel, V., Pullara, S.D. y Grafman, J. (2001). A computational model of frontal lobe dysfunction: working memory and the Tower of Hanoi task. *Cognitive Science*, 25, 287-313.
- Goel, V., Shuren, J., Sheesley, L. y Grafman, J. (2004). Asymmetrical involvement of frontal lobes in social reasoning. *Brain*, 127(4), 783-790.
- Goel, V., Tierney, M., Sheesley, L., Bartolo, A., Vartanian, O. y Grafman, J. (2007) Hemispheric specialization in human prefrontal cortex for resolving certain and uncertain inferences. *Cerebral Cortex*, 17, 2245-2250.
- Goel, V., Vartanian, O., Bartolo, A., Hakim, L., Ferraro, A.M., Isella, V., Appollonio, I., Drei, S. y Nichelli, P. (2013). Lesions to right prefrontal cortex impair real-world planning through premature commitments. *Neuropsychologia*, 51, 713-724.
- Greene, J.D., Sommerville, R.B., Nystrom, L.E., Darley, J.M. y Cohen, J.D. (2001). An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. *Science*, 293, 2105-2108.
- Hamburger, K., Ragni, M., Karimpur, H., Franzmeier, I., Wedell, F. y Knauff, M. (2018). TFM applied to V1 can facilitate reasoning. *Experimental Brain Research*, 1-10.
- Hobeika, L., Diard-Detoef, C., Garcin, B., Levy, R. y Volle, E. (2016). General and specialized brain correlates for analogical reasoning: A meta-analysis of functional imaging studies. *Human Brain Mapping*, 37, 1953-1969.
- Jensen, K., Call, J. y Tomasello, M. (2007) Chimpanzees are rational maximizers in an ultimatum game. *Science*, 318, 107-109.
- Johnson-Laird, P.N. (1994). Mental models, deductive reasoning, and the brain. En M.S. Gazzaniga (Eds.), *The cognitive neurosciences*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Johnson-Laird, P.N. Mancini, F. y Gangemi, A. (2006). A hyper-emotion theory of psychological illnesses. *Psychological Review*, 113(4), 822-841.
- Knauff, M. (2009). A Neurocognitive theory of deductive relational reasoning with mental models and visual images. *Spatial Cognition and Computation*, 9, 109-137.
- Knauff, M. (2013). *Space to reason: A spatial theory of human thought*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Knauff, M. y Johnson-Laird, P. N. (2002). Imagery can impede inference. *Memory and Cognition*, 30, 363-371.
- Knauff, M., Fangmeier, T., Ruff, C.C. y Johnson-Laird, P.N. (2003). Reasoning, models, and images: Behavioral measures and cortical activity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 559-573.
- Knauff, M. y May, E. (2006). Mental imagery, reasoning, and blindness. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59, 161-177.
- Knauff, M., Mulack, T., Kassubek, J., Salih, H.R. y Greenlee, M.W. (2002). Spatial imagery in deductive reasoning: a functional MRI study. *Cognitive Brain Research*, 13, 203-212.
- Knowlton, B.J., Morrison, R.G., Hummel, J.E. y Holyoak, K.J. (2012). A neurocomputational system for relational reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(7), 373-381.
- Koenigs, M. y Tranel, D. (2007). Irrational economic decision-making after ventromedial prefrontal damage: evidence from the ultimatum game. *Journal of Neuroscience*, 27, 951-956.
- Krawczyk, D.C. (2012). The cognition and neuroscience of relational reasoning. *Brain Research*, 1428, 13-23.
- Krawczyk, D.C., McClelland, M. y Donovan, C.M. (2011). A hierarchy for relational reasoning in the prefrontal cortex. *Cortex*, 47(5), 588-97.
- Lempert, K.M. y Phelps, E.A. (2016). Affect in economic decision making. En L.F. Barret, M. Lewis y J.M. Haviland-Jones (Eds.), *Handbook of emotions*. New York: The Guildford press.
- Liang, P., Goel, V., Jia, X. y Li, K. (2014). Different neural systems contribute to semantic bias and conflict detection in the inclusion fallacy task. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 815.
- Mitchell, D.G. (2011). The nexus between decision making and emotion regulation: a review of convergent neurocognitive substrates. *Behavioural Brain Research*, 2;217(1), 215-31.
- Moretti, L., Dragone, D. y di Pellegrino, G. (2009). Reward and social valuation deficits following ventromedial prefrontal damage. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(1), 128-40.
- Noveck, I.A., Goel, V. y Smith, W. (2004) The neural basis of conditional reasoning with arbitrary content. *Cortex*, 40, 613-622.
- Oaksford, M. (2015). Imaging deductive reasoning and the new paradigm. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 101. doi:10.3389/fnhum.2015.00101
- Orenes, I. y Santamaría, C. (2014). Visual content of words delays negation. *Acta Psychologica*, 153, 107-112.
- Phillips, M.L., Young, A.W., Senior, C., Brammer, M., Andrew, C., Calder, A.J., Bullmore, E.T., Perrett, D.I., Rowland, D., Williams, S.C., Gray, J.A. y David, A.S. (1997). A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust. *Nature*, 389, 495-498.

- Prado, J., Chadha, A. y Booth, J.R. (2011). The brain network for deductive reasoning: A quantitative meta-analysis of 28 neuroimaging studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(11), 3483-3497.
- Ragni, M., Franzmeier, I., Maier, S. y Knauff, M. (2016). Uncertain relational reasoning in the parietal cortex. *Brain and Cognition*, 104, 72-81.
- Ragni, M., Franzmeier, I., Wenzel, F. y Maier, S. (2014). The role of the posterior parietal cortex in relational reasoning. *Cognitive Processing*, 15(1), 129-131.
- Rips, L.J. (1994). *The psychology of proof*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Sally, D. y Hill, E. (2006). The development of interpersonal strategy: Autism, theory-of-mind, cooperation and fairness. *Journal of Economic Psychology*, 27, 73-97.
- Sandkühler, S. y Bhattacharya, J. (2008) Deconstructing insight: EEG correlates of insightful problem solving. *PLoS ONE* 3(1): e1459. doi:10.1371/journal.pone.0001459
- Sanfey, A.G., Rilling, J.K. Aronson, J.A., Nystrom, L.E. y Cohen, J.D. (2003). The neural basis of economic decision-making in the ultimatum game. *Science*, 300, 1755-1758.
- Smith, K.W., Balkwill, L.L., Vartanian, O. y Goel, V. (2015) Syllogisms delivered in an angry voice lead to improved performance and engagement of a different neural system compared to neutral voice. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 273. doi: 10.3389/fnhum.2015.00273
- Sporns, O. (2010). *Networks of the brain*. The MIT Press.
- Tik, M., Sladky, R., Luft, C.B.D., Willinger, D., Hoffman, A., Banissy, M.J., Bhattacharya, J. y Windischberger, Ch. (2018). Ultra-high-field fMRI insights on insight: Neural correlates of the Aha!-moment. *Human Brain Mapping*, 1-12.
- Van't Wout, M., Chang, L.J. y Sanfey, A.G. (2010). The influence of emotion regulation on social interactive decision-making. *Emotion*, 10(6), 815-21.
- Van't Wout, M., Kahn, R.S., Sanfey, A.G. y Aleman, A. (2006). Affective state and decision-making in the ultimatum game. *Experimental Brain Research*, 169(4), 564-568.
- Vendetti, M.S., Johnson E.L., Lemos C.J. y Bunge, S.A. (2015). Hemispheric differences in relational reasoning: novel insights based on an old technique. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 55. doi:10.3389/fnhum.2015.00055
- Vila, J. y Guerra, P. (2009). *Introducción a la Psicofisiología clínica*. Madrid: Pirámide.
- Wendelken, C. (2015). Meta-analysis: how does posterior parietal cortex contribute to reasoning? *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 1042. doi:10.3389/fnhum.2014.01042
- Wendelken, C., Chung, D. y Bunge, S.A. (2012). Rostrolateral prefrontal cortex: Domain-general or domain-sensitive? *Human Brain Mapping*, 33(8), 1952-1963.
- Wertheim, J. y Ragni, M. (2018). The neural correlates of relational reasoning: a meta-analysis of 47 functional magnetic resonance studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 30(11), 1734-1748.