

# CONTRASTES

*Revista Internacional de Filosofía*

Volumen VIII (2003) • ISSN: 1136-4076

## SUMARIO

### ESTUDIOS

- Antonio Caba* Representación y conocimiento en matemáticas: una crítica al planteamiento de P. Kitcher
- Pedro J. Chamizo Domínguez* Verdad y futuro: el ensayo como versión moderna del diálogo filosófico
- Joaquín Esteban Ortega* El destino como reto de la hermenéutica actual desde la filosofía de Emanuele Severino
- Manuel Fernández del Riesgo* Muerte hospitalaria. Muerte expropiada. Una reflexión moral
- Rafael Larrañeta* Antígona o Don Juan: Kierkegaard y la tragedia
- M<sup>a</sup>. Carmen López Sáenz* Feminismo y racionalidad ampliada
- Pascual F. Martínez Freire* Concepciones cognitivas del ser humano
- Tom Rockmore* Hegel y los límites del hegelianismo analítico
- Alicia Rodríguez Serón* Imágenes del cerebro, imágenes de la mente

### NOTAS CRÍTICAS

- Antonio Gallardo Cervantes* El racionalismo homicida de Sócrates
- Ana Belén López Vega* Estética y artificio en la sociedad ilustrada
- Marta Postigo Asenjo* Igualdad de oportunidades: un reto político en la teoría liberal

### TRADUCCIÓN CRÍTICA

- José Calvo González* Estudio preliminar: Otra Praga mágica (y posible). *Vashek*, un conciudadano en el estado
- Václav Havel* ¿Orfandad política de los intelectuales?  
(Traducción y notas de José Calvo y Felipe Navarro Martínez)

### INFORME BIBLIOGRÁFICO

- Felipe Navarro Martínez* El pensamiento social y político de Václav Havel. Subsidios bibliográficos

### RESEÑAS

### LIBROS RECIBIDOS

### FONDO EDITORIAL *Contrastes*

# *Imágenes del cerebro, imágenes de la mente*

ALICIA RODRÍGUEZ SERÓN  
*Universidad de Málaga*

## RESUMEN

Las últimas y avanzadas técnicas de imaginería cerebral han logrado generar imágenes del cerebro durante la ejecución de determinadas operaciones mentales. Las imágenes así obtenidas – consideradas imágenes de la mente – han reforzado la creencia de que un día se podrá inferir el contenido de nuestros estados mentales a partir del conocimiento neurofisiológico de las áreas cerebrales implicadas. Este trabajo se propone abordar esta cuestión e intenta aportar algunas aclaraciones epistemológicas sobre las inferencias realizadas por los neurocientíficos.

## PALABRAS CLAVE:

IMAGEN, MENTE, CEREBRO, IMAGINERÍA CEREBRAL

## ABSTRACT

The new functional neuroimaging techniques have succeeded in obtaining images of the brain when performing mental tasks. The images thus obtained, considered images of the mind, have reinforced the belief that we will soon be able to infer the content of our mental states starting from the neurophysiological knowledge of the brain areas involved. This paper attempts to tackle this matter and contributes to clarify, from the epistemological field, some of the inferences attained by neuroscientists.

## KEY WORDS:

IMAGE, MIND, BRAIN, NEUROIMAGING TECHNIQUES

LAS IMÁGENES CEREBRALES, OBTENIDAS MEDIANTE las nuevas técnicas de imaginería cerebral, han suscitado un entusiasmo sin precedentes en la historia de la psicología y de las neurociencias de los últimos años. Entusiasmo que ha traspasado los límites de estas disciplinas y se ha instalado, incluso, entre el gran público. Cada vez resulta más frecuente encontrar, en artículos de divul-

gación científica o en semanales de gran tirada, imágenes del cerebro en plena actividad cognitiva, acompañadas de titulares que nos anuncian que ya está próxima la fecha en que las neurociencias puedan mostrarnos el contenido de nuestros pensamientos.

Al margen de los titulares y a juzgar por lo que nos dice *Human Brain Mapping*, una de las revistas más prestigiosas en este ámbito, habría motivos para el optimismo. Desde 1980, año en que se capturaron las primeras imágenes de la organización funcional cerebral, el interés por la cartografía cerebral funcional del cerebro ha alcanzado cuotas imprevisibles, contando con más de 1000 publicaciones que han ido aumentando a razón de 350 artículos desde el año 1996. Este ingente volumen de trabajos sobre la neuroimagen cerebral justifica, sin duda, las esperanzas de muchos neurocientíficos de poder explicar las funciones superiores. Sin embargo, no todos comparten semejante talante entusiasta, existiendo ciertas reticencias y ciertas llamadas a la prudencia por parte de aquellos que no acaban de aceptar una asimilación directa entre el cerebro y la actividad psíquica e, incluso, ciertas muestras de escepticismo entre aquellos otros –los más desconfiados– que ponen en duda que estas imágenes tan sugestivas nos puedan aportar alguna información de interés sobre el funcionamiento de los procesos mentales.

La cuestión que se plantea entonces es si realmente hay razones para el optimismo; si cabe esperar que en un futuro muy próximo podremos saber, viendo una imagen cerebral funcional, en qué piensa una persona. En definitiva, si podremos inferir el contenido de sus estados mentales, de su pensamiento, a partir del conocimiento microvascular y/o sináptico de las regiones cerebrales implicadas. Desde el punto de vista epistemológico, la cuestión resulta de especial interés. Vuelve plantear el viejo problema de si es posible reducir progresivamente las descripciones psicológicas de lo mental a descripciones neurofisiológicas.

El propósito de este trabajo no es, naturalmente, dar una respuesta definitiva a esta cuestión, sino tan sólo aportar algunas aclaraciones epistemológicas sobre las inferencias realizadas por los neurocientíficos. Para ello, se expondrá primero, de forma sucinta, cómo se generan las imágenes cerebrales a partir de los nuevos métodos de imagen cerebral y cuáles son sus características. Seguidamente, se analizará qué información nos proporcionan en realidad y qué se ha conseguido localizar. Esto nos permitirá examinar, finalmente, la interpretación que se hacen de ellas así como juzgar la validez de las inferencias que los neurocientíficos llevan a cabo. Nos centraremos en las imágenes obtenidas mediante tomografía por emisión de positrones (TEP) y mediante resonancia magnética funcional (IRMf), dos de las técnicas más empleadas en este ámbito.

## I. GENERACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES CEREBRALES

En ciencias cognitivas, el término «imagen» referido al cerebro presenta una cierta ambigüedad en su sentido y puede ser entendido de dos maneras distintas. Por un lado, alude a las fotografías del cerebro en actividad que el neurocientífico obtiene mediante las técnicas de imaginería funcional, se habla así de *imágenes del cerebro* o de *imágenes cerebrales*. Por otro, se refiere a las representaciones que cualquier individuo elabora en su percepción del mundo o en el momento de la evocación, muchas de las cuales también pueden ser capturadas por medio de los modernos métodos de neuroradiología funcional. Suelen denominarse *imágenes mentales*. Estas últimas deben ser diferenciadas, a su vez, de las «imágenes de la mente» que hacen referencia a las imágenes cerebrales funcionales cuando son interpretadas desde un punto de vista psicológico. En lo que sigue nos ocuparemos de las imágenes del cerebro en su vertiente neurofisiológica y en su vertiente psicológica (imágenes de la mente).

### I.1. IMÁGENES-TEP

Son imágenes que se obtienen mediante tomografía por emisión de positrones (TEP). Esta técnica permite medir los cambios de flujo sanguíneo que acontecen en el cerebro cuando éste ejecuta una tarea motriz, sensorial o cognitiva concreta (oponer el pulgar a los demás dedos, escuchar o leer palabras, etc.). Para medir estos cambios de flujo sanguíneo, la TEP se sirve de ciertos elementos radiactivos que tienen la propiedad de emitir partículas cargadas positivamente, o positrones, cuando se desintegran. Entre los más utilizados, se encuentran los isótopos de tres átomos fundamentales de la materia viva, el carbono 11, el oxígeno 15 y el nitrógeno 13. Estos átomos son incorporados luego a las moléculas de un compuesto de interés (agua, azúcar, aminoácidos, etc.) que, una vez introducido en el organismo mediante inyección intravenosa o por inhalación, se difundirá en el torrente sanguíneo hasta llegar al cerebro. Este compuesto marcado hará posible así el seguimiento del proceso fisiológico cerebral implicado en el desarrollo de la operación mental.

La desintegración del isótopo inyectado produce un positrón y un neutrino. El neutrino se desvanece en el organismo a los pocos segundos, sin interactuar con la materia; no pudiendo ser detectado. En cambio, el positrón, al entrar en contacto con los tejidos, colisiona con los electrones del entorno, pierde rápidamente su energía y termina por aniquilarse con uno de ellos. De esta desintegración, se liberan –simultáneamente y en sentidos opuestos– dos fotones gamma capaces de atravesar el cráneo y de ser capturados por un sistema de sensores, dispuestos alrededor de la cabeza del sujeto. Cada par de fotones es detectado en coincidencia, lo que permite determinar la recta sobre la que está

situado el punto de emisión de positrones. Dado que esta emisión es proporcional a la actividad cerebral que se está produciendo en ese momento y, por tanto, a la concentración local del marcador, la TEP consigue así explorar distintos parámetros fisiológicos y bioquímicos: el flujo sanguíneo, el consumo de oxígeno, el metabolismo energético etc.<sup>1</sup>.

Los estudios neuropsicológicos más recientes se centran, sobre todo, en la detección de los aumentos en el flujo sanguíneo cerebral regional (FSRC) producidos por aumentos en la actividad neuronal. La idea de que el flujo sanguíneo y la actividad cerebral están estrechamente relacionados no es nueva, se remonta a finales del siglo XIX con los estudios de los fisiólogos ingleses Charles Roy y Charles Scherrington (1890). Estos investigadores postularon la existencia de un mecanismo automático de regulación del flujo sanguíneo dependiente de las variaciones locales de la actividad neuronal<sup>2</sup>. Actualmente se admite que, en condiciones normales, el FSCR refleja la actividad sináptica local. Es sabido que en el nivel sináptico es donde se halla la principal fuente de consumo energético, existiendo una relación entre el FSCR y el consumo metabólico de oxígeno (M. E. Raichle, 1998). Aunque no se conozca con exactitud el mecanismo por el que se produce tal relación, se ha comprobado que el FSCR se ve modificado por el metabolismo, probablemente como respuesta a las necesidades energéticas de los substratos metabólicos. Esto explicaría que el FSCR sea cuatro veces mayor en las zonas de sustancia gris que en las de sustancia blanca. La medición de los cambios de flujo sanguíneo en una región del cerebro refleja, pues, los cambios que ocurren en la actividad sináptica de las neuronas que forman esta región. Este hecho resultará de suma importancia a la hora de interpretar las imágenes generadas.

Una vez registrados todos estos datos, se procede a su interpretación mediante una serie de complejas técnicas de análisis informático que vinculan la distribución de los átomos radiactivos con la actividad fisiológica regional. Las imágenes resultantes representan de forma tridimensional las concentraciones del radioisótopo inyectado que, a su vez, son reflejo de la distribución del FSCR en las distintas zonas del córtex durante una activación motriz, sensorial o cognitiva.

1 Para más detalles, véase M. Phelps, J. Mazziotta y H. Schelbert, *Positron Emission Tomography and Autoradiography* 1986 y A.W. Toga y J.C. Mazziotta, *Brain Mapping. The methods* 2002.

2 Aproximadamente por estas fechas, en 1851, el fisiólogo italiano Angelo Mosso también llegó a conclusiones similares. Observó que las pulsaciones registradas por encima de los lóbulos frontales, en enfermos con el cráneo abierto, no guardaban relación con las modificaciones del ritmo cardíaco ni con la presión sanguínea sino con la actividad mental de los pacientes.

Estas observaciones ya fueron tenidas en cuenta por los psicólogos de la época. Cf. R. Ribot, *Psychologie de l'attention* 1889, pp. 22-23 y W. James, *The Principles of Psychology* 1890, pp. 98-99.

## I.2. IMÁGENES-IRMF

Al igual que las imágenes-TEP, las imágenes obtenidas por resonancia magnética funcional (IRMF) también muestran las distintas zonas de cerebro donde se han producido modificaciones del flujo sanguíneo o del metabolismo durante el funcionamiento cerebral. En realidad, la IRMF permite visualizar y cuantificar las variaciones de flujo y volumen sanguíneos así como los cambios de oxigenación producidos durante una actividad cerebral. Los mecanismos por los cuales se generan estas modificaciones no han sido todavía completamente esclarecidos. Parece ser que en el transcurso de las activaciones cerebrales, se produce un aumento en el consumo de glucosa sin que esto dé lugar a un aumento paralelo en el consumo de oxígeno. Cuando una tarea cognitiva se mantiene durante algunos segundos, el aumento local del flujo sanguíneo cerebral en las regiones implicadas –se supone– tiene como consecuencia un mayor aporte de hemoglobina oxigenada (Hb-O<sub>2</sub>). Como este incremento de oxígeno no es capturado por el tejido cerebral, los capilares venosos se enriquecen en Hb-O<sub>2</sub> o, lo que es mismo, se empobrecen en hemoglobina reducida, deoxi-hemoglobina (deoxi-Hb) con respecto al estado inicial. En el transcurso de una activación, la actividad sináptica se ve acompañada de un incremento del flujo y del volumen sanguíneo cerebral mayor que el aumento del consumo de oxígeno. Estos cambios hemodinámicos se traducen en una disminución clara del contenido vascular en deoxi-Hb, produciendo un ascenso de la señal IRM. Su concentración en los capilares venosos depende del FSCR local y del consumo de oxígeno del tejido cerebral.

El método BOLD (*Blood Oxygen Level Dependent*), que se aplica en este caso, se basa precisamente en el hecho de que la deoxi-Hb que se encuentra confinada en el interior de los glóbulos rojos es paramagnética (en tanto que la hemoglobina es diamagnética). Se comporta, por tanto, como un marcador paramagnético endógeno presente en el torrente circulatorio<sup>3</sup>.

La IRMF aprovecha las propiedades magnéticas de la deoxi-Hb y mediante la aplicación de resonancia magnética nuclear (*cf.* Posner y Raichle, 1994) establece cuáles son las áreas en las que el FSCR se ha modificado, de manera estadísticamente significativa, durante la ejecución de la tarea. Tras análisis informáticos de gran complejidad<sup>4</sup>, se generan imágenes tridimensionales que

3 Sobre la imaginería por resonancia magnética y sobre el método BOLD, véase C. Moonen y P. Bandettini, *Functional MRI* 1999 y A.W. Toga y J.C. Mazziotta, *Brain Mapping. The methods* 2002.

4 Hay que sumar al ya clásico software de análisis de datos TEP y IRMF –el SPM (*Statistical Parametric Mapping*) – propuesto en 1995 por Karl Friston, un conjunto de programas para procesar, analizar y visualizar las imágenes cerebrales funcionales – conocido como AFNI (*Analysis and visualization of functional magnetic resonance neuroimages*)– elaborado en 1996 por Robert Cox y que cuenta con diversas versiones mejoradas que pueden ser consultadas en Internet (la última de mayo de 2003). *Cf.* <http://afni.nimh.nih.gov/afni/>.

representan el estado de oxigenación de los capilares sanguíneos en el cerebro. Puesto que la activación cerebral provoca localmente un aumento del flujo sanguíneo sin que aumente el consumo de oxígeno, las imágenes-IRMf reflejan las disminuciones locales de concentración de deoxi-hemoglobina. En realidad, lo que se visualiza en estas imágenes es el contraste entre regiones ricas en hemoglobina oxigenada (incremento de flujo sanguíneo) y las regiones de flujo sanguíneo normal.

Las imágenes-TEP y las imágenes-IRMf comparten pues algunas características comunes. Ambas muestran las modificaciones hemodinámicas cerebrales que se derivan de las modificaciones de la actividad sináptica. Representan, por tanto, de modo indirecto el funcionamiento cerebral. Ambas son imágenes numéricas tridimensionales que contienen el valor de un parámetro correlacionado con la actividad sináptica en cualquier región del cerebro (FSCR, concentración de deoxi-HB). Permiten observar el conjunto del cerebro con una resolución espacial del orden de 5mm en la TEP y menos de 1 mm en la IRMf. Antes de examinar cómo se localizan las áreas cerebrales activadas, es necesario detenerse en el modo en que el neurocientífico cognitivo logra identificar las funciones activadas. De ello depende en buena medida que las imágenes tomográficas brutas se conviertan en imágenes significativas.

### I.3. EL MÉTODO DE SUSTRACCIÓN

Como hemos visto, la TEP y la IRMf logran registrar los cambios de flujo sanguíneo y de metabolismo del cerebro, proporcionándonos las correspondientes imágenes de la activación cerebral. Sin embargo, estas técnicas en sí mismas no permiten definir la o las funciones activadas. Para lograr su identificación, el neurocientífico necesita disponer de un plan experimental riguroso de psicología cognitiva que defina las tareas que el sujeto ha de desarrollar. Conocer los procesos cognitivos en los que se va a ver implicado el sujeto, durante la medición de su actividad cerebral, resulta crucial para la identificación de la función de las redes neuronales activadas. La mayor parte de las investigaciones en imaginería cerebral utilizan *el método de sustracción*. Consiste en idear dos condiciones experimentales que, idealmente, sean en todo idénticas salvo en la etapa de tratamiento que se desea estudiar. Se sustraen entonces las medidas fisiológicas efectuadas durante estas dos tareas. La sustracción permite aislar la contribución de las regiones cerebrales implicadas en la función cognitiva estudiada (S. Dehaene, 1997).

En la práctica, el investigador deberá obtener imágenes que representen el flujo sanguíneo en cada región del cerebro, cuando el sujeto ejecuta una tarea particular (motriz, sensorial, cognitiva) y cuando se halla en una condición de referencia neutra. Con la ayuda de un tratamiento informático, extraerá las

regiones para las cuales el flujo sanguíneo ha cambiado entre la condición de control y la ejecución de la tarea y de ello deducirá cuáles son las regiones que han participado en la tarea. Por ejemplo, Petersen y sus colaboradores (1988), en un experimento ya célebre, sustrajeron la imagen producida cuando un sujeto leía una palabra y la pronunciaba en voz alta de la imagen producida cuando un sujeto leía una palabra, generaba un verbo asociado semánticamente con la palabra oída (así, si oía la palabra «perro», por ejemplo, debía decir algo así como «ladrar», y pronunciarla). Su objetivo era identificar aquellas áreas cerebrales responsables de la generación de un verbo asociado semánticamente a una palabra.

El método de sustracción presenta, no obstante, ciertas dificultades. Entre otras, cabe destacar la siguiente. No permite saber si la ausencia de diferencia entre una imagen control y una imagen experimental refleja procesos cognitivos de la misma naturaleza; sólo permite afirmar que la actividad metabólica subyacente es idéntica. Podría ocurrir que en operaciones cognitivas idénticas participaran regiones cerebrales que presentaran, sin embargo, activaciones diferentes. Por consiguiente, a partir de una simple localización de una región y de la medida de una intensidad de activación, no se puede deducir la naturaleza de los procesos cognitivos subyacentes (Roland y cols., 1995, p. 783; W. Uttal, 2001, p. 186).

## II. ¿CÓMO SE LOCALIZAN LAS ÁREAS CEREBRALES ACTIVADAS?

Una vez que se han detectado las áreas de activación, los investigadores proceden a su localización anatómica precisa. Para ello, utilizan el atlas de neuroanatomía estereotáxica desarrollado por Talairach y Tournoux (1988). Este atlas constituye un espacio de referencia universal cuyas coordenadas (x, y, z) han sido calculadas a partir del plano que pasa por las comisuras cerebrales anterior y posterior y por la vertical que atraviesa la comisura anterior. Permite identificar las áreas de activación con respecto a las áreas citoarquitectónicas establecidas por el neuroanatomista alemán Kornibian Brodmann, en 1909.

Este investigador dividió los hemisferios cerebrales en áreas citoarquitectónicas individuales, partiendo de criterios microscópicos: número de capas, densidades celulares, tipo de células. La distribución de las diferentes capas varía según las regiones del córtex, no existiendo una correspondencia entre esta arquitectura celular y las subdivisiones morfológicas. Sí existe, en cambio, una cierta correspondencia entre citoarquitectura y función, lo que ha llevado a varios autores a producir mapas corticales funcionales distintos de acuerdo con sus preferencias. En el uso contemporáneo, un enunciado como «se ha observado una activación en el área X» no significa otra cosa que los

investigadores estiman que el foco de actividad forma parte de una región análoga a la designada por Brodmann.

No obstante, este uso puede conducir a imprecisiones. Por una parte, el ajuste topográfico entre los planos de imágenes funcionales y el dibujo hecho a mano por Brodmann no es exacto, ni tiene en cuenta las diferencias interindividuales en la distribución de las áreas citoarquitectónicas. Por otra, la anatomía del cerebro que sirve de referencia no es la de los sujetos del experimento, sino la del único cerebro utilizado para la elaboración del atlas, el de una anciana extraído después de su muerte. Todas estas inexactitudes han llevado a algunos neuroanatomistas contemporáneos, como Karl Zilles (1998), a proponer una nueva distribución del córtex cerebral, basándose esta vez en el estudio de los receptores de neuromediadores. Por ejemplo, Brodmann sólo distinguía dos áreas en el córtex motor primario (las áreas 4 y 6) y, gracias al análisis químico de la distribución de los receptores de neuromediadores, Zilles distingue cinco áreas implicadas en el control de movimientos.

De estas imprecisiones en la localización de las áreas cerebrales y en la identificación de las funciones –puestas de relieve por los propios investigadores y de las que sólo he recogido una parte<sup>5</sup>–, se desprende que lo que nos presentan las imágenes cerebrales de activación, generadas durante el desarrollo de una determinada función, no son siempre áreas cerebrales activadas perfectamente identificadas, que se pudieran correlacionar con una determinada función cognitiva. No parece pues razonable suponer sin más que las imágenes del cerebro, que nos ofrecen la TEP o la IRMF, representen la localización estricta y directa de las funciones cognitivas y, por tanto, deban ser siempre consideradas imágenes de la mente.

### III. ¿QUÉ SE LOCALIZA?

Pese a las dificultades planteadas, es evidente que las nuevas técnicas de imaginería cerebral –y en cierta medida las imágenes cerebrales resultantes – han contribuido a mejorar el conocimiento de la relación existente entre una región del córtex y una función cerebral. Hasta la llegada de la neuroimagen funcional, esta relación había sido establecida basándose en lo que podríamos denominar «la prueba por la ausencia o la desaparición», es decir, vinculando una lesión cerebral localizada y un trastorno observado clínicamente. Si la ausencia de una región *f* produce un déficit de la función cognitiva y, entonces, la región *f* esta implicada en la función *y*. Los trabajos de Paul Broca fueron

5 Para un análisis más detallado sobre la falta de precisión en la localización cerebral y las dificultades que rodean al método de sustracción, véase, entre otros, S. Dehaene (1997), K. Friston (1997), W. Bechtel (2000), J. Bogen (2001) y W. Uttal (2001).

pioneros en este campo; logró establecer la primera correlación rigurosa entre una lesión de la parte media del lóbulo frontal del hemisferio izquierdo y la pérdida de la palabra. Este enfoque fue ampliamente desarrollado y todavía prevalece en la neuropsicología actual, aunque limitado. La gran variabilidad en el tamaño de las lesiones en los individuos estudiados y la plasticidad cerebral son factores, entre otros, que han hecho difícil extrapolar los modelos de funcionamiento de cerebros lesionados al cerebro normal (Gur y Gur, 1991). La aparición de las técnicas de autorradiografía aplicadas, primero, en animales y, posteriormente, en el hombre permitieron elaborar los primeros mapas funcionales del cerebro humano. Pero no fue hasta los años 1990, con las actuales técnicas de neuroimagen, cuando se pudieron obtener localizaciones de las funciones cerebrales en el hombre sano (Raichle, 1998; Toga y Mazziotta, 2002).

Ciertamente, las técnicas para aprehender la morfología del cerebro han evolucionado considerablemente, desde Broca hasta nuestros días. Pero, sin duda, lo que más ha cambiado, durante este tiempo, ha sido el hecho de que las imágenes-TEP y las imágenes-IRMf constituyen ahora testimonios de que es posible poner en relación, de forma simultánea, una actividad cognitiva —o mejor dicho uno de sus componentes— con una modificación fisiológica cerebral en un hombre sano. De este modo, en la neuropsicología actual, las imágenes cerebrales funcionales representan «la prueba por la presencia» (y no ya sólo por la ausencia) de la relación entre estructuras y funciones.

Llegados a este punto, y teniendo en cuenta la distancia conceptual que separa el ámbito conceptual de la anatomía del de la psicología, se hace necesario aclarar qué se entiende por función. En neurociencia, una función hace referencia a un conjunto de propiedades activas y dinámicas que concurren, en el ser vivo, hacia un mismo fin. Se han ofrecido distintas definiciones y clasificaciones de las funciones. Su identificación ha estado siempre influenciada por el estado de los conocimientos empíricos, anatómicos, fisiológicos y conductuales de cada momento. La fragmentación de las funciones cognitivas en percepción, atención, memoria etc. obedece de hecho a una opción teórica que depende del paradigma dominante en las ciencias de una determinada época (W. Uttal, 2001).

De modo general, el concepto de función se encuentra estrechamente vinculado al de estructura, formando parte de su definición. Es sabido que en cualquier sistema biológico distinto del cerebro, la estructura anatómica define directamente su función. Por ejemplo, existe una relación unívoca entre la anatomía del corazón y su función biológica. Sin embargo, no ocurre lo mismo en el sistema nervioso central. Por una parte, la similitud de las diferentes regiones corticales, en cuanto a estructura y organización, hace la interpretación de la relación estructura-función más difícil. Las neuronas, especialmente las de las áreas subyacentes a las operaciones cognitivas —en contraposición a las de las

áreas sensoriales primarias—, carecen de una especificidad funcional propia e independiente de sus conexiones aferentes y eferentes. El córtex prefrontal es un claro ejemplo de ello. Se le atribuyen las funciones siguientes: memoria de trabajo, memoria espacial, planificación del comportamiento, estructuración temporal, inhibición, control de las intenciones, etc. Por otra, una función es soportada por una red de regiones distribuidas, existiendo varios niveles de organización superpuestos en el seno de la misma estructura (Véase, para más detalles, Kosslyn, 1996; Moonen y Bandeteni, 1999). La cuestión fundamental que emerge entonces de los estudios de neuroimagen se refiere a las inferencias en la atribución de una función a una estructura o a un conjunto de estructuras cerebrales.

#### IV. VALORACIÓN EPISTEMOLÓGICA DE LAS INFERENCIAS REALIZADAS

Desde el punto de vista epistemológico, los resultados obtenidos a veces nos pueden dar la impresión de un regreso a la ya abandonada frenología de Franz Gall<sup>6</sup>. Otras incluso nos pueden hacer pensar que nos encontramos ante un «neoconductismo» disfrazado, que trata de descubrir las correlaciones existentes entre las entradas de estímulos y las salidas conductuales, aunque —eso sí— haga referencia a una serie de estructuras corticales representadas con bonitos colores.

La cuestión es ¿son apropiadas las conclusiones acerca de la naturaleza de las relaciones estructura-función de los estudios de neuroimagen? ¿Qué se ha conseguido localizar? En los estudios de neuroimagen, el neurocientífico cognitivo tiene como principal objetivo determinar una función a partir de la estructura neuronal subyacente, de tal manera que una operación cognitiva específica se identificará con una estructura neuronal subyacente si existe entre ambas una correspondencia unívoca, un isomorfismo<sup>7</sup>. Por ejemplo, los

6 Recuérdese que, en el año 1808, el anatomista alemán postuló que el córtex era el órgano que tenía a su cargo las funciones mentales y morales, y que estas funciones estaban localizadas en algunos lugares precisos de las circunvoluciones cerebrales, imprimiendo incluso una marca en el cráneo. Las ideas de Gall, aunque disfrutaron de un gran predicamento entre el gran público, no sobrevivieron a los descubrimientos fundamentales de mediados y finales de siglo sobre las neuronas y sus propiedades, así como a los estudios sobre trastornos de funciones mentales.

La específica descomposición de las funciones, propiciada por los nuevos métodos de imagen cerebral, y las consiguientes dificultades técnicas y conceptuales que se derivan de su aplicación conducen a William Uttal a sostener la idea de un progresivo asentamiento de lo que él denomina la manía de una *nueva frenología*, advirtiéndonos de los peligros de reduccionismo que ésta puede entrañar.

7 En el ámbito de las neurociencias, el término «isomorfismo» debe ser tomado en un sentido próximo al que se le otorga en matemáticas, en la teoría de grupos. Según esta teoría, dos grupos se llaman isomorfos cuando se establece una correspondencia unívoca entre los elementos de ambos grupos. Esta definición, probablemente imprecisa para el matemático puede ser suficiente para la neurociencia cognitiva.

investigadores hacen variar las operaciones cognitivas contrastando tareas que se supone sólo difieren en uno o varios componentes cognitivos. A continuación, aíslan las diferencias entre las imágenes asociadas a la estructura neuronal. El resultado obtenido será interpretado como indicando que esa región cerebral está implicada en esa operación cognitiva. Esta forma de interpretación expresa explícitamente la hipótesis de que existe un isomorfismo entre estructura cerebral y función cognitiva (M. Posner y M. Raichle, 1994).

En el caso de las operaciones de bajo nivel de actividad, la interpretación de la relación estructura-función no resultará problemática, ya que existe un isomorfismo razonable entre los conceptos que describen las operaciones de los circuitos neuronales y los conceptos funcionales. Por ejemplo, en los reflejos espinales se ha podido demostrar la existencia de una correspondencia unívoca entre los potenciales sinápticos o la activación neuromuscular y la capacidad funcional de *retirada*. Pero en el ámbito de lo mental, de las operaciones cognitivas de alto nivel, la interpretación no es tan evidente. Las funciones cognitivas suelen descansar en procesos múltiples (análisis sensoriales y perceptivos, aprendizaje, memoria, etc.) y cada uno de estos procesos se compone de varias operaciones distintas que pueden tener grados de localización muy variables, generalmente se trata de localizaciones distribuidas. En este caso, la probabilidad de que los conceptos y modelos funcionales se superpongan parece muy débil. Dicho de otro modo, no se da un isomorfismo razonable que permita atribuir una determinada función, o uno de sus componentes, a una determinada estructura cerebral.

Puede establecerse un paralelismo entre esta tesis y la teoría de la identidad fisicalista fuerte, o «tipo-tipo» (del inglés *type-type*), según la cual un estado mental causalmente pertinente se identifica con un tipo de estado físico del sistema neuronal subyacente. En este caso, tipos de estados mentales –definidos por su papel causal– se identifican con tipos de estados cerebrales. Esta teoría puede ser válida para los procesos de bajo nivel o para los niveles intermedios de procesamiento<sup>8</sup>. Pero la identidad parece poco probable para los estados mentales y procesos cognitivos de alto nivel que requieren una gran diversidad de estructural neuronales.

De ello podemos deducir que las inferencias en la atribución de una función a una estructura serán pertinentes, en la medida que exista un cierto isomorfismo. Y éste sólo parece garantizado para las funciones simples. ¿Qué ocurre, entonces, en las inferencias que afectan a funciones cognitivas complejas?

8 Las investigaciones neurofisiológicas sobre el sistema visual han demostrado la existencia de células corticales *específicas* que responden a informaciones *específicas* del entorno, tales como la orientación o la luminiscencia e incluso a las longitudes de onda. Cf. Zeki y cols., 1996.

El denominador común del que parten los trabajos que recurren a la neuroimagen es que la estructura y el funcionamiento de los sistemas neuronales constriñen el nivel superior. El neurocientífico cognitivo estudia los procesos psicológicos teniendo en cuenta las limitaciones que impone el hecho de que es un organismo biológico el que los realiza. Esta aproximación implica que deba optar por un determinado paradigma cognitivo controlado y compatible tanto con un determinado modelo psicológico como con los conocimientos neurofisiológicos existentes (conexiones, especializaciones de las áreas corticales, etc.). Esto hace que se encuentre en el camino con ciertas dificultades.

Al margen de la postura ontológica que adopte (funcionalismo, eliminativismo, materialismo no-reductivo o dualismo), uno de los problemas que se le plantea con respecto a las inferencias que pueden establecerse a partir de las imágenes-TEP o imágenes-IRMf procede de la naturaleza de la señal registrada. Como se ha visto más arriba, las imágenes funcionales representan la distribución espacial de las modificaciones que se producen en los capilares sanguíneos cerebrales en un tiempo variable según la técnica (algunos segundos para la IRMF y 60 segundos para la TEP). Esta distribución, a su vez, se supone es el reflejo de un aumento local de una actividad sináptica, tanto excitadora como inhibidora. Dicho de otro modo, los procesos inhibidores, al igual que los excitadores, pueden dar lugar a aumentos locales del FSCR. Otro obstáculo a la hora de juzgar la validez de las inferencias procede de la necesidad de comparar condiciones experimentales entre sí, así como la dificultad de obtener una condición de referencia que sólo difiera en un elemento cognitivo (S. Dehaene, 1997). Finalmente, incluso en aquellos casos en que las funciones se hallen bien localizadas en circuitos neuronales específicos, éstos pueden estar organizados de modo difuso o ampliamente distribuidos. Pueden compartir componentes neuronales con otros circuitos que intervienen en funciones distintas, o incluso ejecutar diferentes funciones según los *estímulos*, el contexto o el estado cognitivo del sujeto. La activación de circuitos organizados de manera difusa puede escapar a la detección de la señal con respecto al ruido de fondo (Kosslyn y cols., 1996).

La mayoría de los investigadores que trabajan con imágenes funcionales estiman que todos estos problemas acabarán solucionándose, conforme se vaya mejorando la resolución espacial y temporal de las máquinas. Sin embargo, en raras ocasiones se considera, como un aspecto crucial, la propia lógica de las inferencias que se hacen a partir de las imágenes.

Si el fin último del neurocientífico cognitivo, en este ámbito, es registrar la unidad funcional más pequeña en un periodo de tiempo lo más corto posible, deberá dar respuesta a la cuestión de cómo ha de ser caracterizada una unidad funcional (neurona, sinapsis, grupo de neuronas, subsistemas de neuronas etc.).

De manera general, los trabajos del psicólogo canadiense Donald Hebb (1949) han permitido ir más allá de la estricta relación entre estructura y función, al reconocer la existencia de distintos niveles de organización (cf. H. Gardner, 1985). Hoy en día, los neurofisiólogos admiten, en un sentido próximo a Hebb, que conviene distinguir los *circuitos*, pequeños conjuntos de neuronas que concurren para llevar a cabo una función elemental, de las *agrupaciones más amplias de neuronas* que aseguran las funciones superiores, las cuales, a diferencia de las funciones elementales, se apoyan en grupos neuronales distribuidos y son por tanto más sensibles a las lesiones (G. Edelman, 1989; S. Zeki y cols., 1991).

Por tanto, la determinación de una función por una estructura sólo podrá hacerse con rigor y utilidad, si se distingue un nivel de organización que sea adecuado a la función<sup>9</sup>. En los estudios de neuroimagen, se suele partir del análisis de los niveles más complejos de interpretación de los estímulos para descender a los más bajos (aproximación *top-down*), pero también cabe ir del nivel más primario de interpretación de los *inputs* y ascender hasta los niveles más complejos (aproximación *bottom-up*). En el nivel más bajo, el de las operaciones sensoriales y motrices simples, estructura y función coincidirían; habría isomorfismo. Más allá de este nivel primario, la función escaparía al determinismo de la estructura; al ir ascendiendo progresivamente en la jerarquía de niveles, se perdería el isomorfismo.

En resumen, desde el punto de vista de las inferencias en la atribución de una función a una estructura, una imagen cerebral podrá ser interpretada como la imagen de un determinado proceso psicológico, una imagen de la mente, si se da una correspondencia unívoca entre éste y la estructura cerebral que lo subtiende. Cosa que sólo ocurre en las operaciones de bajo nivel. En cuanto a las operaciones de alto nivel, en donde resulta difícil la identificación precisa de las unidades funcionales y en donde no se da una correlación estricta entre estructura y función, las imágenes cerebrales representarán tan sólo «visualizaciones» aproximadas e imperfectas de los procesos psicológicos estudiados. La identificación clara del nivel de análisis del que parte el neurocientífico contribuirá a la interpretación.

Un último aspecto a tener en cuenta con respecto a la naturaleza de las inferencias se refiere a la reducción entre los diferentes niveles de observación. Nos permitirá aportar alguna aclaración acerca de si las imágenes-TEP o imágenes-IRMf representan el contenido de un pensamiento, o más concreta-

9 Desde el punto de vista filosófico, la cuestión que sigue latente en lo que concierne a las inferencias realizadas por los neurocientíficos cognitivos es si es posible realmente establecer una jerarquía de niveles mentales paralela a la jerarquía de niveles neuronales. En caso afirmativo, cabría preguntarse si esta jerarquización, que es constructiva en el ámbito del saber científico, no sería empobrecedora en el ámbito de comprensión de lo mental.

mente, si es posible inferir el contenido de un estado mental a partir del conocimiento microvascular y/o sináptico. En neurociencia cognitiva, especialmente en neuropsicología cognitiva, las inferencias se realizan, como señalaba antes, dentro de un modelo. Cada modelo se define por una sintaxis y una semántica. La sintaxis, en este ámbito, es de naturaleza cerebral y físico-química, estaríamos en el nivel de las estructuras neurofisiológicas. La semántica puede ser definida como la proyección espacial y temporal de la sintaxis en una realidad cognitivamente significativa, se trata del nivel de las funciones cognitivas (J.P. Caverni, 1988). Por el momento, no existe una explicación o modelo único, pero en todos los casos la noción que está en juego es la de representación neuronal/mental, noción clave en las neurociencias cognitivas y cuya naturaleza está aún por determinar. Normalmente, estas representaciones –a igual que las demás representaciones– están constituidas por signos que sustituyen la realidad, los símbolos. Se han ofrecido diversas definiciones más o menos rigurosas de este concepto, con variadas significaciones según su ámbito de aplicación (filosófico, artístico o incluso religioso). Sin salirnos del entorno de las ciencias cognitivas contemporáneas, resultará de interés recoger aquí la definición propuesta por Stevan Harnad, profesor de Psicología Cognitiva de la Universidad de Southampton (Inglaterra) y editor de la revista *Behavioral and Brain Sciences*.

Según S. Harnad (1990), un símbolo es una realidad física cualquiera (arbitraria) –por ejemplo, una huella en la arena, agujeros en una cinta de papel, dibujos en las balizas de señalización de carretera, caracteres tipográficos, etc.– que se manipula según reglas explícitas. El uso de tales reglas se basa únicamente en la forma que caracteriza al símbolo y no en su «significación». Se trata pues simplemente de una sintaxis que consiste en combinar los símbolos según ciertas convenciones. Existen así símbolos elementales, «atómicos», y símbolos compuestos resultantes de la unión de varios símbolos elementales. El conjunto de un cierto tipo de símbolos, provistos de una determinada sintaxis, forma un sistema simbólico. De acuerdo con esta argumentación, todos los símbolos y todas las reglas de la sintaxis de un sistema simbólico pueden ser interpretados desde el punto de vista semántico, pueden tener una significación.

Desde esta perspectiva simbólica, algunos cognitivistas –llamados simbolistas– postulan que es posible identificar los símbolos y las operaciones sintácticas que los manipulan con procesos neurobiológicos (D. Hofstadter, 1985; P. Johnson-Laird, 1993). A simple vista, esta tesis se ajusta a la realidad: las representaciones simbólicas son un aspecto del funcionamiento cerebral. Pero la tesis de los «simbolistas» va mucho más allá: en todos los niveles de organización, habría isomorfismo entre el pensamiento simbólico y el sistema nervioso. Así, un fenómeno neurobiológico «elemental», como un potencial de acción en una neurona N, sería equivalente a un símbolo elemental. Un

fenómeno más complejo como una sucesión de fenómenos elementales –el potencial de acción provoca, a través de la terminación axónica de N, la liberación de moléculas de neuromediadores que se fijan en los receptores de la membrana de una neurona post-sináptica P, lo que, por medio de otro neuromediador, desencadena una cadena de acontecimientos en P– sería equivalente a un símbolo complejo, a una combinación de varios símbolos elementales. Los procesos que unen a estos dos fenómenos, el potencial de acción de N y la cadena de acontecimientos en P, serían equivalentes a una operación lógico-matemática<sup>10</sup>. Se está presuponiendo, por tanto, un isomorfismo que nos autorizaría a concluir la posibilidad de inferir el contenido semántico de un estado mental de su estructura neuronal. Semejante presuposición es, cuando menos, discutible.

En esta aproximación cognitivista, el carácter simbólico de los hechos neurobiológicos es afirmado basándose en argumentos cuya validez ha sido puesta en duda. El principal argumento esgrimido por los «simbolistas» sostiene que, según la ley de todo o nada, la actividad de las neuronas (en forma de potenciales de acción) puede ser descrita mediante un sistema binario en donde 0 representa el estado de reposo y 1 la descarga de los potenciales de acción. Esta descripción, válida hace cincuenta años con los trabajos de McCulloch y Pitts, resulta difícil de sostener teniendo presentes los conocimientos neurocientíficos actuales. Hoy en día, se sabe que en el funcionamiento del sistema nervioso central intervienen otro tipo de procesos, además de los potenciales de acción; por ejemplo, los procesos «analógicos». (M. Gazzaniga, 1998; K. Friston, 1998).

Volvamos ahora a nuestro análisis. Si bien cabe interpretar semánticamente los símbolos y las reglas de una sintaxis e identificarlos con procesos neuronales, solamente algunos investigadores, los «simbolistas», defienden un isomorfismo entre el nivel sintáctico y el nivel semántico. Por lo tanto, a menos que aceptemos este isomorfismo y reduzcamos ambos niveles de observación, no podremos inferir el contenido semántico de nuestros estados mentales a partir del conocimiento sináptico y/o microvascular de los mismos. De lo que se sigue que solamente la aceptación de una correspondencia unívoca entre niveles nos permitiría inferir que las imágenes cerebrales funcionales pueden informarnos sobre el contenido de nuestro pensamiento, de nuestra mente. En otras palabras, las imágenes-TEP y las imágenes-IRMf pueden mostrarnos cuando un sujeto está pensando, pero no nos dicen nada acerca de lo que piensa.

<sup>10</sup> El análisis de la percepción visual de D. Marr (1982) es un ejemplo clásico de este análisis en términos simbólicos. Véase también V. Bruce y P. R. Green (1993).

## V. NEUROIMAGINERÍA Y REDUCCIONISMO

Esta reducción entre diferentes niveles de observación tiene un correlato epistemológico en la reducción entre niveles de descripción. En efecto, a simple vista, los resultados obtenidos por las nuevas técnicas de exploración del cerebro, plasmados en forma de imágenes cerebrales funcionales, pueden parecer a ojos de algunos observadores el triunfo del reduccionismo neurofisiológico: la confirmación de que es posible reducir de forma progresiva las descripciones psicológicas de los procesos cognitivos a descripciones neurofisiológicas. Las imágenes funcionales, incluso, vendrían a reforzar la creencia de que el nivel más importante de descripción es el neurofisiológico —y no el psicológico—, ya que sólo él permitiría explicar la naturaleza y propiedades de la cognición.

Sometidos a una consideración más detenida, estas técnicas y sus resultados muestran más bien lo contrario: lo que el neurocientífico cognitivo trata de describir y confirmar, desde el punto de vista neurofisiológico, es lo que el psicólogo cognitivo le ha proporcionado ya descrito y elaborado en el seno de una teoría o modelo. ¿Qué se estudia, si no, en neuroimágenes de la memoria, por ejemplo? Si la memoria episódica activa o no las mismas regiones que la memoria semántica; si los procesos de codificación y de rememoración ponen en funcionamiento los mismos sistemas neuronales, etc. (E. Tulving, 1995).

Desde este punto de vista, las imágenes-TEP y las imágenes-IRMf podrían ser consideradas, en el fondo, imágenes «cognitivas» ya que sólo adquieren sentido si se dispone de un modelo cognitivo. No obstante, como se ha visto más arriba, desde el punto de vista epistemológico, no debemos olvidar que no en todos los casos podrán ser consideradas imágenes de la cognición; sólo en aquellos en que se haya logrado establecer una correspondencia —punto por punto— entre estructura cerebral definida y función cognitiva.

Pero, siguiendo a H. Putnam (1973; 1988), habría que insistir en que incluso en el caso de que los avances de la neuroimágenes logran deducir de manera más precisa la función cognitiva concreta de la activación neuronal, ésta última no bastaría por sí sola para interpretar a aquélla; en definitiva, para explicarla. En principio, podemos deducir la distribución de la macroestructura neuronal de la microestructura físico-química del cerebro. Y, siempre en principio, podemos deducir los estados globales del cerebro de esta microestructura físico-química y, finalmente, las conductas y los estados mentales a partir de los estados globales del cerebro. Esta relación deductiva es puramente descriptiva y estrictamente transitiva. Permite en principio deducciones del tipo «las conductas se deducen de la microestructura» o «los estados mentales se deducen de la microestructura». Pero esta relación deductiva no debe ser confundida con una relación explicativa. Ésta, a diferencia de la primera, no es transitiva

ni implica que podamos explicar el comportamiento o los estados mentales a partir de la microestructura físico-química del cerebro. De la misma manera que las imágenes cerebrales no pueden ser explicadas sin hacer referencia al medio físico en que se generan y a numerosas hipótesis auxiliares (por ejemplo, la codificación simbólica), así la explicación de la cognición requería hacer referencia al entorno físico pero también al entorno social y cultural.

Las imágenes cerebrales, por tanto, aunque puedan parecer la prueba de un asentamiento definitivo del reduccionismo, inducen al error. Ciertos psicólogos de la cognición, subyugados por la imaginería cerebral, estiman que en un futuro próximo no habrá investigación cognitiva sin imágenes del cerebro. Quizá tengan razón, pero no en el sentido que ellos creen. Hemos visto que, estrictamente hablando, no habría imágenes del cerebro, o para ser más precisos, que estas imágenes sólo cobran sentido gracias a teorías e hipótesis cognitivas elaboradas por la psicología cognitiva. En contra de las apariencias, espectaculares y mediáticas, es la psicología cognitiva la que da «mente» a las imágenes metabólicas del cerebro y no a la inversa. Dicho de otro modo, la psicología cognitiva «va» al encuentro de las neurociencias, más que reducirse progresivamente a ellas.

## VI. CONCLUSIONES

Las imágenes del cerebro obtenidas mediante las técnicas de imaginería son imágenes que representan los procesos y estados neurofisiológicos que subtienden la actividad mental. Muestran –podríamos decir– el continente de los procesos y estados mentales. Pero no nos informan sobre el contenido de los mismos, a menos que asumamos un isomorfismo entre los niveles sintáctico y semántico. Sólo cabe interpretar que podemos acceder al contenido de los estados mentales, si asumimos un isomorfismo entre ambos niveles, entre estructura neuronal y función cognitiva. Según los conocimientos neurofisiológicos existentes, éste sólo es defendible en las operaciones de bajo nivel. En las operaciones de alto nivel, la existencia de distintos niveles de organización neuronal, han puesto seriamente en duda la posibilidad de una relación unívoca entre estructura neuronal y función cognitiva. Por ello, la interpretación de las imágenes funcionales cerebrales requiere identificar de un modo claro el nivel de análisis en el que el neurocientífico se sitúa, en una escala que va desde las operaciones más complejas a las más simples. Sólo así se evitará confundirlos y realizar inferencias inapropiadas.

El hecho de que las imágenes funcionales representen el cerebro en pleno funcionamiento cognitivo –algo que ha permanecido inaccesible a la observación directa, durante mucho tiempo – sin duda explica el entusiasmo con que son recibidas por el público, lego o especialista. Probablemente, la prueba por

la presencia que nos aportan resulte mucho más convincente que la prueba por la ausencia; la necesidad de disponer de una prueba no es algo exclusivo del ámbito jurídico, está presente tanto en el profano como en el científico. Sin embargo, una imagen no necesariamente vale más que mil palabras; puede suponer una simplificación excesiva e incluso una ilusión de comprensión.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BECHTEL, W. 2000: «From imaging to believing» en R. Creath y J. Maienschein (eds.), *Biology and Epistemology*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 138-163.
- BOGEN, J. 2001: «Functional Imaging Evidence: Some Epistemic Host Spots», en P. Machamer, R. Grush y P. McLaughlin (eds.), *Theory and Method in the Neurosciences*, Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, pp. 173-199.
- BRUCE V., GREEN P.R. 1993: *Visual Perception*, Hillsdale: Erlbaum.
- CAVERNI, J.P. 1988: *Psychologie cognitive, modèles et méthodes*, París: PUG.
- COX, R. 2003: AFNI (Analysis of functional Neuroimagen), Medical College of Wisconsin, en <http://afni.nimh.nih.gov/afni/>.
- DEHAENE, S. 1997: *Le cerveau en acción. Imagerie cérébrale fonctionnelle*, Paris: PUF.
- EDELMAN, G. 1989: *The Remembered Present. A Biological Theory of Consciousness*. New York: Basic Books.
- FRISTON, K.J. 1997: «Imaging cognitive anatomy», *Trends in Cognitive Sciences*, vol.1, nº1, pp. 21-27.
- FRISTON, K.J. 1998: «Imaging neuroscience: Principles or maps», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, pp. 796-802.
- GARDNER, H. 1985/1988: *La nueva ciencia de la mente. Historia de la revolución cognitiva*, Buenos Aires: Paidós.
- GAZZANIGA, M. S., IVRY, R.B., MANGUN, G.R. 1998: *Cognitive Neuroscience. The Biology of the Mind*. New York: W.W. Norton & Company.
- GUR R. C., GUR R. E. 1991: «The impact of neuroimaging on Human Neuropsychology» en R.G. Lister, H.J. Weingartner (eds.), *Perspectives on Cognitive Neuroscience*, Oxford: Oxford University Press, pp. 417-435.
- HARNAD, S. 1990: «The symbol grounding problem», *Physica*, 42, pp. 335-346.
- HEBB, D. 1949: *Organization of Behavior*, Nueva York: John Willey.
- HOFSTADTER, D. 1985/1992: *Gödel, Escher, Bach: un eterno y grácil bucle*, Barcelona: Tusquets.
- HOUDÉ, O. 1998: *Vocabulaire de sciences cognitives*, Paris: PUF.
- JAMES, W. 1890: *The Principles of Psychology*, Nueva York: Dover, vol. 1.
- JOHNSON-LAIRD, P. 1993: *The computer and the Mind*. Londres: Fontana Press.
- KOSSLYN S.M., THOMPSON W.L., ALPERT N.M. 1996: «Identifying Objects at Different Levels of Hierarchy: a Positron Tomography Study», *Human Brain Mapping*, 1995, 3, pp. 107-132.
- MARR, D. 1982: *Vision: A Computation Investigation into the Human Representational System and Processing of Visual Information*, San Francisco: Freeman.

- MOONEN C., BANDETTENI, P. 1999: *Functional MRI*, Berlin: Springer-Verlag.
- PHELPS, M., MAZZIOTTA, J., SCHELBERT, H. (eds.) 1986: *Positron Emission Tomography and Autoradiography*, Nueva York: Raven.
- PETERSEN, S. E., FOX, P.T., POSNER, M.I., MINTUN, M., RAICHLE, M. 1988: «Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single words processing», *Nature*, 331, pp. 585-589.
- POSNER, M.I., RAICHLE, M.E. 1994: *Images of Mind*, Nueva York: W. H. Freeman and Company.
- PUTNAM, H. 1973: «Reductionism and the nature of psychology», *Cognition*, 2, 1, pp. 131-146.
- PUTNAM, H. 1988/1990: *Representación y realidad*, Barcelona: Gedisa.
- RAICHLE, M.E. 1998: «Behind the scenes of functional brain imaging: A historical and physiological perspective», *Processing of the national Academic of Sciences*, 95, pp. 765-772.
- RIBOT, T. (1889): *Psychologie de l'attention*, Paris: Alcan.
- ROLAND, P.E., KAWASHIMA, R., GULYAS R., O'SULLIVAN, B. 1995: «Positron Emission Tomography in cognitive neuroscience: Methodological constraints, strategies, and, examples from learning and memory. En M. Gazzaniga (ed.), *The cognitive neurosciences*, Cambridge, MA: MIT Press, pp. 781-788.
- ROY C. S., SHERRINGTON, C.S. 1890: «On the regulation of the blood-supply of the brain», *The Journal of Physiology*, pp. 85-108.
- TALAIRACH, J., TOURNOUX, P. 1988: *Co-planar stereotaxic Atlas of the human Brain*, Nueva York: Thieme Medical Publishers.
- TOGA, A. W., MAZZIOTTA, J. 2002: *Brain Mapping. The methods*, San Diego: Academic Press (2ª ed.).
- TULVING, R. 1995: «Organization of memory: Quo vadis» en M. Gazzaniga, *The cognitive neurosciences*, pp. 839-847.
- UTTAL, W. R. 2001: *The new Phrenology. The Limits of Localizing Cognitives Process in the Brain*, Cambridge, MA: MIT Press.
- ZEKI, S., WATSON, J. D. G., LUECK, C. J., FRISTON, K. J., KENNARD, C., FRACKOWIAK, R.S.J. 1991: «A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex», *Journal of Neuroscience*, 11, pp. 641-649.
- ZILLES, K. 1998: «Structural divisions and functional fields in the human cerebral cortex», *Brain Research Reviews*, 26, pp. 87-105.
- VAN ESSEN, D. C. 1985: «Functional organization of the primate visual cortex», *Cerebral Cortex*, nº 3, pp. 259-329.

Alicia Rodríguez Serón es profesora asociada de Filosofía de la mente en la Universidad de Málaga. Es autora de *El estudio de la memoria en Bergson: antecedentes e implicaciones filosóficas* (Universidad de Málaga, 1998) y «La neurofilosofía como punto de encuentro entre filosofía y neurociencias», *Contrastes*, 7 (2002), pp.149-166.

Dirección Postal, Departamento de Filosofía. Campus de Teatinos, Universidad de Málaga, Facultad de Filosofía y letras, E-29071, Málaga.

E-mail: ars@uma.es