

Aproximación histórica y conceptual a la Neurociencia Cognitiva

CARLES ESCERA

Universidad de Barcelona



Resumen

Se revisan críticamente las raíces históricas que han determinado el surgimiento de la Neurociencia Cognitiva como disciplina de síntesis entre la psicología cognitiva, la neurociencia y las ciencias de la computación, así como sus relaciones con la psicobiología y el grado de implantación en España. Se propone que la Neurociencia Cognitiva es una ciencia normal (en sentido kuhniano), que sostiene que el cerebro humano está organizado en módulos funcionales discretos, sustentados por la actividad de poblaciones neuronales con localización anatómica específica, que interaccionan entre sí para originar las actividades mentales.

Palabras clave: Psicofisiología, neuropsicología, psicología cognitiva, neurobiología, funciones humanas superiores, cerebro-mente.

Historical and conceptual approach to Cognitive Neuroscience

Abstract

This paper reviews the historical roots that have determined the emergence of Cognitive Neuroscience as a science of synthesis between cognitive psychology, neuroscience, and computational sciences, as well as its relationships to psychobiology and its degree of development in Spain. It is proposed that Cognitive Neuroscience is a "normal science" (in Kuhn's sense), that holds that the human brain is organized into discrete functional modules hosted by the activity of neural populations of specific anatomical location, which interact with each other to give rise to mental activities.

Keywords: Psychophysiology, neuropsychology, cognitive psychology, neurobiology, higher human functions, mind-brain.

Agradecimientos: El autor quiere expresar su gratitud a María José Corral, Sílvia Corbera y Vanessa Carral, compañeras del laboratorio, por su ayuda inestimable durante la redacción de este texto. También quiere agradecer los comentarios críticos y sugerencias de Antonio Aznar, Francisco Barceló, Fernando Cadaveira, Fernando Díaz, Pedro Montoya y Núria Sebastián. Financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (BSO2003-002440) y la Generalitat de Catalunya (2003XT-00084).

Correspondencia con el autor: Grup de Recerca en Neurociència Cognitiva. Departament de Psiquiatria i Psicobiologia Clínica. Universitat de Barcelona. P. Vall d'Hebron, 171, 08035-Barcelona. Tel. 93 3125048; email: cescera@ub.edu

1. Neurociencia Cognitiva

Cuenta la leyenda que el nombre de Neurociencia Cognitiva se gestó hacia finales de los setenta en el asiento trasero de un taxi en Nueva York. En ese taxi, Michael S. Gazzaniga y George A. Miller se dirigían a una cena de trabajo con un grupo de colegas de otras universidades americanas, que se habían propuesto coordinar esfuerzos para estudiar el sustrato cerebral de la mente, una empresa que hasta entonces no tenía nombre propio (Gazzaniga, Ivry y Mangun, 1998). Cierta o no la historia, lo cierto es que desde entonces la Neurociencia Cognitiva se ha ido forjando durante estos años como una disciplina con entidad propia y reconocida por la comunidad científica, a caballo entre la psicología cognitiva y la neurociencia.

El primer uso público de la denominación “Neurociencia Cognitiva” corresponde a un curso que con este nombre organizaron los ya aludidos Gazzaniga y Miller en el *Cornell Medical College*, en 1976, sobre las bases biológicas de la cognición humana (Gazzaniga, 1984). El objetivo: enfatizar la comprensión de ésta, partiendo de la consideración de que la aproximación más apropiada era la de estudiar sujetos humanos sanos con las técnicas de las ciencias del cerebro en concordancia con los métodos de las ciencias cognitivas (Gazzaniga, 1984). Pero probablemente no fue hasta 1982, según Posner y DiGirolamo (2000), cuando se publicó el primer texto con este nombre: *Cognitive neuroscience: Developments towards a science of synthesis*, de Posner, Pea y Volpe (1982), aparecido en un libro sobre representaciones mentales (Mehler, Walker y Garret, 1982).

Otros primeros textos con ese término fueron el *Handbook of cognitive neuroscience*, editado por Gazzaniga en 1984, o el *Mind and brain: dialogues in cognitive neuroscience*, editado por LeDoux y Hirst en 1986. Sin embargo, estas primeras obras fueron más un compendio de buenos propósitos que el escaparate de una disciplina científica establecida. Así por ejemplo, el *Handbook of cognitive neuroscience* de Gazzaniga (1984), define el objetivo de la Neurociencia Cognitiva como el estudio de las bases biológicas de la cognición humana, aunque, a pesar de las pretensiones del título, el resultado son 19 capítulos dispersos, de los cuales únicamente en siete se tiene en cuenta explícitamente el cerebro. En el resto se discuten trabajos realizados con medidas conductuales, o se proponen modelos lógicos o computacionales sobre distintas funciones cognitivas. Creemos pues que no fue hasta 1988-89, como se discutirá más adelante, que la Neurociencia Cognitiva se hace explícita como una disciplina nueva, con un objeto de estudio y un marco paradigmático –en el sentido kuhniano (Kuhn, 1962)– propios, con las publicaciones de Posner, Petersen, Fox y Raichle (1988), Kosslyn (1988), Churchland y Sejnowski (1988) y Gazzaniga (1989). Y no ha sido hasta hace muy poco que se han publicado libros que con ese título ofrecen una perspectiva desde la Neurociencia Cognitiva de las funciones cerebrales; nos referimos al libro *Neurociencia y conducta*, de Kandel, Schwartz y Jessell (1997), y al *Cognitive Neuroscience: The biology of mind*, de Gazzaniga *et al.* (1998, recientemente ampliado y reeditado en 2002).

La Neurociencia Cognitiva se define como la disciplina que busca entender cómo la función cerebral da lugar a las actividades mentales, tales como la percepción, la memoria, el lenguaje e incluso la consciencia (Albright y Neville, 2000; Gazzaniga, 1984, 1995, 2000b; Kosslyn y Andersen, 1992; Kosslyn y Shin, 1992; Posner y DiGirolamo, 2000; Waldrop, 1993). Para Gazzaniga (1995, 2000b), la mente es lo que el cerebro hace, y la Neurociencia Cognitiva aboga por una ciencia que relacione genuinamente el cerebro y la cognición de una manera mecanicista. En este sentido, la Neurociencia Cognitiva busca descubrir los algoritmos que describen la actividad fisiológica llevada a cabo en las

estructuras neuronales, y que resultan en la percepción, la cognición y la consciencia (Gazzaniga, 1995).

Definida así, no obstante, la Neurociencia Cognitiva no difiere en mucho de las neurociencias entendidas en el sentido más amplio. Por ejemplo, Kandel escribe en la primera línea del prefacio de su obra *Principios de Neurociencia* (Kandel, Schwartz y Jessell, 2001), que “el objetivo de la Neurociencia es comprender la mente: cómo percibimos, nos movemos, pensamos y recordamos” (pág. xxxv) (véase también, Kandel *et al.*, 1997); Shepherd, en su obra *Neurobiology*, atribuye propósitos similares a esta disciplina (Shepherd, 1994), y Fuster (2000) afirma, literalmente, que “toda neurociencia es cognitiva” (p. 51). Sin embargo, aunque los límites entre Neurociencia y Neurociencia Cognitiva se puedan estar volviendo progresivamente más difusos, la Neurociencia Cognitiva constituye una forma de entender las relaciones cerebro-cognición con identidad paradigmática propia, diferenciada de la neurociencia en general, y de las disciplinas psicológicas y psicobiológicas en particular.

Para comprender la naturaleza paradigmática de la Neurociencia Cognitiva, y de cómo supuso una revolución en el estudio de las relaciones mente-cerebro, se hace necesario analizar los hechos y los descubrimientos que determinaron su surgimiento (Kosslyn y Andersen, 1992; Morris, 1996). Una primera aproximación a su origen nos revela que ésta empezó a gestarse cuando, en parte por la evolución natural de sus presupuestos, y en parte por cierta crisis paradigmática interna, los psicólogos cognitivos dirigen su foco de atención hacia el cerebro, en particular para plantearse dos cuestiones fundamentales (Kosslyn y Andersen, 1992): 1) cuál es el proceso más simple que lleva a cabo el cerebro, y 2) cómo estos procesos elementales interaccionan entre sí para producir las actividades mentales. Ambas cuestiones llevaron a una nueva conceptualización de la función cerebral, que surgió de la confluencia de los descubrimientos e ideas de tres viejas tradiciones: la neurociencia, la psicología experimental y las ciencias de la computación (Churchland y Sejnowski, 1988; Gazzaniga *et al.*, 1998; Kandel *et al.*, 1997; Kosslyn y Andersen, 1992; Kosslyn y Shin, 1992). La evolución histórica de estas disciplinas durante la primera mitad del siglo veinte, y sus más recientes desarrollos durante las décadas de los cincuenta, sesenta y setenta, prepararon las condiciones apropiadas para el surgimiento de esta nueva ciencia de la mente. En parte, las raíces más remotas de la Neurociencia Cognitiva en la neurociencia y la psicología son compartidas con la Psicología Fisiológica, pero sus antecedentes más inmediatos se refieren a desarrollos en esas disciplinas que se dieron cuando la Psicología Fisiológica se había ya establecido como una disciplina consolidada.

2. Antecedentes en las Neurociencias

La localización de las funciones cognitivas en el cerebro tiene una larga historia, que se remonta por lo menos a los primeros años del siglo XIX. El primer intento sistemático de relacionar la topografía cerebral con las funciones psíquicas corresponde a Franz Joseph Gall (1758-1828), fundador de la frenología, y su discípulo Johan Gaspar Spurzheim (1776-1832). La frenología constituyó una especie de “psicología de las facultades”, empeñada en atribuir características mentales específicas a las diferentes regiones del cerebro –hasta 27 distintas según Gall, 35 según Spurzheim e incluso de 46 a 50 según otros frenólogos de la época (Zola-Morgan, 1995)–. Pero, a pesar de que sus postulados carecían totalmente de fundamento empírico, las modernas ciencias de la mente deben a la frenología por lo menos dos contribuciones importantes. En primer lugar, los frenólogos fueron los primeros en enfatizar la importancia de la superficie cere-

bral, el córtex, desplazando el centro objeto de interés en el cerebro de sus predecesores, que lo ubicaban en los ventrículos (Kosslyn y Andersen, 1992). En segundo lugar, al postular que el cerebro no era un órgano unitario e indiferenciado, abrieron la puerta a un estudio más sistemático y, sobre todo, caracterizado por el método científico, de la localización de las funciones cognitivas.

Los postulados de la frenología desencadenaron reacciones tanto a favor como en contra, y uno de los primeros en utilizar la experimentación científica contra la frenología fue Marie-Jean-Pierre Flourens (1794-1867). Flourens realizó resecciones quirúrgicas en distintas partes del encéfalo de palomas, observando que, aunque en algunos casos existía cierta correspondencia entre la localización de las lesiones y la pérdida de facultades específicas, en general los efectos de la ablación cerebral eran difusos, y, en cualquier caso, no se correspondían con los pretendidos por la frenología en relación a las áreas lesionadas (Finger, 1994). Esto le llevó a proponer una teoría sobre una función cerebral unitaria, que no contemplaba ninguna localización particular para habilidades específicas. Pero ahora sabemos que los trabajos de Flourens carecían también de fundamento a causa de las limitaciones tecnológicas de la época (tanto unas técnicas quirúrgicas rudimentarias como unos métodos de evaluación conductual deficientes). Además, en los años siguientes se irían acumulando evidencias en favor de la especialización funcional de las regiones cerebrales.

Efectivamente, Paul Broca (1824-1880) describiría en 1863 el caso de un paciente, *Tan*, que había perdido la capacidad de producir lenguaje articulado, y en cuya autopsia pudo observarse una lesión en la tercera circunvolución frontal del hemisferio izquierdo. En 1874, Karl Wernicke (1848-1904) describiría un segundo tipo de dificultad para el lenguaje, relacionada con la comprensión, debida a una lesión localizada en una zona posterior con relación al paciente de Broca (en el *planum* supratemporal). La tercera evidencia a favor de una alta especialización funcional de la corteza cerebral fue obtenida por Eduard Hitzig (1838-1907) y Gustav Fritsch (1838-1927). Hitzig y Fritsch describirían en 1870, a partir de la estimulación eléctrica cerebral, la organización somatotópica de la corteza motora del perro. En este acúmulo de evidencia localizacionista, mención aparte merece la obra de John Hughlings Jackson (1835-1911). Jackson describiría en 1864, en sus estudios sobre la epilepsia y la hemiplejía, que las funciones sensoriales y motoras se hallaban ubicadas en diferentes zonas de la corteza, y postularía un modelo de organización jerárquica del sistema nervioso, según el cual los niveles superiores controlan los inferiores y donde múltiples áreas cerebrales contribuyen a los procesos cerebrales complejos (Kosslyn y Andersen, 1992; Finger, 1994). Con esta idea, a Jackson se le puede considerar como un precursor de los postulados de la Neurociencia Cognitiva actual.

El cambio al siglo XX supuso la eclosión de los estudios neuroanatómicos y neurofisiológicos que fueron perfilando el surgimiento de la Neurociencia, en los años setenta, como disciplina de síntesis (Cowan y cols., 2000). Sin duda, la contribución más destacada a la neurociencia moderna es la de Santiago Ramón y Cajal, con la *doctrina de la neurona* y el *principio de polarización dinámica* (Cowan, Harter y Kandel, 2000; Finger, 1994; Kandel y Squire, 2000). Fue esa la época en que se sucedieron los estudios citoarquitectónicos del córtex, liderados por Korbinian Brodmann (1868-1918), que pusieron de manifiesto la existencia de una compleja organización anatómica, al identificar varias decenas de áreas compuestas por células nerviosas de morfología diferenciada. Aunque muchas de estas áreas no resistieron el paso del tiempo (Kosslyn y Andersen, 1992), el descubrimiento de que el cerebro poseía un compleja organización estructural parecía dar apoyo al punto de vista localizacionista.

Sin embargo, hacia los años treinta algunos científicos cuestionaban que las diferencias morfológicas implicaran diferencias funcionales. En este sentido, el trabajo de Karl Lashley (1890-1958), fue especialmente influyente. Lashley realizó experimentos de ablación en ratas, parecidos a los de Flourens, obteniendo resultados similares. Basándose en sus propios trabajos experimentales, Lashley (1950) propuso dos principios para explicar los efectos difusos de las lesiones corticales sobre el aprendizaje y la memoria: el *principio de acción de masa* –según el cual el cerebro opera como un sistema unitario, y el *principio de equipotencialidad* –que sostiene que todas las partes del cerebro sustentan habilidades similares. Pero los trabajos de Woolsey, Bard y Rose, realizados por aquellos años, iban a suponer un avance significativo en la investigación neurofisiológica, que apoyaría fuertemente una visión de especialización funcional de las regiones cerebrales. Efectivamente, estos autores fueron capaces de cartografiar la actividad provocada por estímulos sensoriales mediante electrodos colocados sobre la superficie cortical de animales, en diferentes áreas somestésicas (SI y SII; Bard, 1938; Woolsey, Marshall y Bard, 1942) y auditivas (AI y AII; Rose y Woolsey, 1949).

En años siguientes, la utilización de la técnica para el registro de la actividad de células nerviosas individuales iba a suponer un paso importante hacia la convergencia entre neurociencia y psicología. Esta técnica, desarrollada por Lord Edgar Douglas Adrian (1889-1977) y aplicada al sistema visual de invertebrados por Haldan Keffer Hartline (1903-1983) y de mamíferos por Stephen Kuffler (1913-1980), ilustraría hasta qué punto neurociencia y psicología se influían mutuamente (Kandel y Squires, 2000). Efectivamente, al adentrarse en la aproximación celular a la fisiología de sistemas, los neurofisiólogos se basaron en los rigurosos métodos experimentales del conductismo y la psicofísica para explorar de qué manera un estímulo sensorial resultaba en una respuesta neuronal particular.

Los primeros estudios neurofisiológicos de registro de actividad unitaria en la corteza del mono, realizados por Allman y Kaas, demostraron la existencia de varias representaciones de la retina más allá de la corteza estriada, en contraste con la única representación visual hallada en V1. Paralelamente, los trabajos anatómicos de Zeki sobre las conexiones entre V1 y otras áreas visuales (Zeki, 1978), así como la observación de la preferencia por la dirección del movimiento de las células del área MT(V5) o por el color en V4, significarían el inicio de dos décadas de investigación que llevarían a la propuesta de la existencia de dos vías segregadas de procesamiento en el córtex visual (DeYoe y von Essen, 1988). Simultáneamente, se iban descubriendo también múltiples áreas funcionales en el córtex auditivo (Brugge y Reale, 1985) y somestésico (Merzenich, Kaas, Sur y Lin, 1978). Estos estudios condujeron, según Kosslyn y Andersen (1992), a una resolución elegante del debate localizacionista/globalista, al poner de manifiesto que las funciones complejas, tales como la percepción, la memoria o el razonamiento, se llevan a cabo por un conjunto de procesos subyacentes de localización específica, cada uno de los cuales es, por sí solo, insuficiente para explicar la función. En este contexto, se iba configurando la emergencia de la Neurociencia Cognitiva como la ciencia que debería dar respuesta a la cuestión de cuál es el proceso más simple en el cerebro y de cómo éstos interaccionan entre sí para sustentar las funciones complejas.

Hay acuerdo unánime en que un primer paso decisivo hacia la convergencia de la neurociencia y la psicología cognitiva se debe a Vernon Mountcastle, David Hubel y Torsten Wiesel (Cowan *et al.*, 2000; Kandel y Squires, 2000; Kosslyn y Andersen, 1992). Sus estudios unicelulares sobre la corteza somestésica (Mountcastle, 1957) y visual (Hubel y Wiesel, 1959) del mono no sólo pusieron de manifiesto que las células corticales tienen propiedades de respuesta altamente

selectivas, sino que las células con las mismas propiedades de respuesta se organizan en columnas corticales de especialización funcional, dando lugar al concepto de organización modular de la corteza cerebral.

El siguiente paso decisivo tuvo lugar hacia finales de los sesenta, cuando se pusieron a punto las técnicas para registrar actividad celular unitaria en animales despiertos entrenados para realizar ciertas tareas sensoriales o motoras. De la mano de Edward Evarts en el sistema motor y de Mouncastle en el sistema somestésico, estos estudios pusieron de manifiesto que las actividades perceptivas y los actos motores simples correlacionan con patrones específicos de actividad neuronal, y abrieron la puerta al estudio de la representación interna de conductas específicas mediante el registro de actividad de neuronas individuales (Cowan *et al.*, 2000). Poco después, a estos trabajos siguieron los de Wurtz y Goldberg (Wurtz, Goldberg y Robinson, 1980) y de Moran y Desimone (1985) demostrando la modulación de la actividad neuronal unitaria con la atención selectiva, y los de Fuster sobre actividad neuronal unitaria implicada en la memoria a corto plazo (Fuster y Alexander, 1971).

Hacia finales de los setenta, los psicólogos cognitivos ya empezaban a dirigir sus miradas hacia la neurociencia, y la neurociencia empezaba a interesarse cada vez más por el tipo de problemas que la psicología cognitiva se planteaba. La necesidad de una nueva forma de entender las relaciones entre el cerebro y la mente se hacía palpable –de hecho, ya se había acuñado en un taxi el nombre para esa nueva ciencia antes de que ni siquiera hubiera echado a andar. Psicólogos cognitivos y científicos del cerebro se reunían en seminarios y cursos de verano, y pronto empezarían a surgir las primeras convergencias. No se habían desarrollado todavía las potentes modernas técnicas de neuroimagen (Gazzaniga, 1984; Kosslyn y Shin, 1992), pero ya se utilizaban los potenciales evocados cerebrales en paradigmas cognitivos (Hillyard y Picton, 1987; Kutas y Hillyard, 1984). La Neurociencia Cognitiva emergía, y el desarrollo de la tomografía por emisión de positrones (Phelps, Kuhl y Mazziotta, 1981), primero, y de la resonancia magnética funcional (Belliveau *et al.*, 1991) diez años más tarde, harían posible estudiar esas interacciones cerebro-mente en el cerebro humano de sujetos activos. Pero veamos antes los sucesos que dirigieron la atención de los psicólogos cognitivos hacia el cerebro.

3. Antecedentes en la psicología experimental

Los orígenes de la psicología científica se remontan a Wilhelm Wundt (1832-1920), quizás no tanto por sus contribuciones científicas, sino por el hecho de haber establecido en Leipzig, en 1879, el primer laboratorio de psicología experimental (Boring, 1990). Wundt, al igual que muchos de sus discípulos, y especialmente al igual que Gustav Fechner (1801-1877), desarrolló una psicología fisiológica de las sensaciones, basada en el método científico y la contrastación empírica en el laboratorio. A Fechner debemos la obra *Elementos de Psicofísica*, aparecida en 1860, que no sólo significó un hito para el surgimiento de la psicología científica, sino que se ha convertido con posterioridad en uno de los pilares de la Neurociencia Cognitiva (Albright y Neville, 2000).

Sin embargo, debido a la influencia de la reflexología rusa, especialmente la de Ivan Pavlov (1849-1936), la psicología introspectiva y de los contenidos desarrollada por Wundt y sus seguidores se fue abandonando, para dar paso al surgimiento de un nuevo movimiento psicológico a principios del siglo XX: el conductismo, de la mano de John B. Watson (1878-1958). Watson abogaba por una psicología que estudiara la conducta del hombre de la misma manera que se abordaba la de los animales, es decir, mediante la experimentación, como único

método válido para la obtención de datos, y la conducta manifiesta como único objeto de estudio posible. El conductismo se erigió en el paradigma dominante en psicología durante, por lo menos, los siguientes 40 años, y significaría el rechazo frontal al estudio de las actividades mentales, inobservables públicamente.

Pero la hegemonía conductista perdió empuje cuando los psicólogos de la Gestalt propusieron que los fenómenos perceptivos se explicaban mejor en relación a las propiedades emergentes de los elementos estímulos (Caparrós, 1984). Hacia finales de los años cincuenta, el conductismo iba perdiendo influencia, en gran parte debido al desarrollo de la tecnología y la teoría de la computación. Se estaba forjando una nueva forma de entender la psicología: la psicología cognitiva. Uno de sus más decisivos impulsores, George A. Miller, quien años más tarde acuñaría el nombre de Neurociencia Cognitiva, publicaba en el año 1956 su influyente artículo "*The magical number seven, plus-or-minus two*" (Caparrós, 1984; Gazzaniga *et al.*, 1998), y otros similares durante aquellos años, en los que se insiste en unos conceptos muy alejados del lenguaje conductista, tales como organización de la memoria, planes de conducta, etcétera (Caparrós, 1984).

Bajo la influencia de otros jóvenes psicólogos cognitivos, tales como Ulric Neisser, Herbert Simon, Jerome Bruner, el lingüista Noam Chomsky, y, por supuesto, el propio Miller, la psicología empezó a convencer a la comunidad científica de que la vida mental era, de hecho, bastante más rica que la definida en el marco conductista. La principal tesis defendida fue que el conocimiento del mundo se basa en un soporte biológico para percibirlo (*hardware*), y que la percepción es un proceso creativo que no sólo depende de la información inherente al estímulo (*data driven processing*) sino también de la estructura mental del que percibe (*conceptually driven processing*) (Neisser, 1967).

Donald Hebb (1904-1985), considerado uno de los precursores de la psicología fisiológica moderna (Milner y White, 1987), publica en 1949 su obra *The organization of behavior*, todavía en época de hegemonía conductista. La obra de Hebb, quien se autoconsideraba un pseudoconductista (Caparrós, 1984), no sólo tuvo una profunda influencia en el desarrollo de la psicología fisiológica, y algunos de sus postulados son clave para la neurociencia moderna (por ejemplo, las sinapsis "hebbianas"), sino que sus planteamientos asociacionistas contribuyeron al desarrollo de una nueva psicología. Efectivamente, en los postulados de Hebb, el sistema nervioso ocupa una posición central en la explicación de la conducta, hasta tal punto que si no existía el conocimiento pertinente, Hebb postulaba la existencia de un mecanismo neurobiológico apropiado (Milner y White, 1987). Con este planteamiento, Hebb supuso una ruptura conceptual con el conductismo al considerar la existencia de procesos mediacionales (*v.gr.*, el sistema nervioso) en su modelo de organización de la conducta (Caparrós, 1984), y hay quien lo considera incluso el primero de los neurocientíficos cognitivos por su forma de integrar el conocimiento conductual, neuroanatómico, neurofisiológico y computacional de su época (Sejnowski, 1999).

Al redirigir la atención hacia las operaciones mentales, los psicólogos cognitivos se interesaron en el procesamiento de la información, en el flujo de la información sensorial que va desde los receptores periféricos hasta las eventuales operaciones en el cerebro que llevan al almacenamiento de información (memoria) y la acción (conducta). El punto de vista cognitivo se asentó en el presupuesto de que cada acto perceptivo o motor tiene una representación interna en el cerebro, y que nuestras percepciones, acciones y pensamientos dependen de transformaciones internas o computaciones. Según Posner y DiGirolamo (2000), la formalización de estos presupuestos se debe a Miller (Miller y Lenenberg, 1978), quien

estableció: 1) que las funciones complejas se pueden descomponer en procesos simples, 2) que estos procesos simples pueden localizarse anatómicamente y estudiarse en relativo aislamiento, y 3) que los procesos cerebrales simples correlacionan directamente con formas simples de procesos conductuales.

En este contexto, tres fueron los psicólogos cognitivos, según Kosslyn y Andersen (1992), que tuvieron un papel más decisivo en el surgimiento de la Neurociencia Cognitiva. El primero de ellos fue Saul Sternberg, quien demostró que algunas tareas se llevan a cabo en una serie discreta de etapas de procesamiento, y desarrolló un método para caracterizarlas, llamado de los factores aditivos (Sternberg, 1969), similar al desarrollado por Donders un siglo antes. Por ejemplo, con el conocido experimento de búsqueda serial en memoria (Sternberg, 1966), Sternberg postuló que la tarea se realiza en cuatro fases sucesivas de procesamiento: codificación, comparación del ítem codificado con la representación de los ítems en memoria, decisión y generación de la respuesta. Al descomponer una tarea cognitiva en una serie etapas de procesamiento, Sternberg abrió la puerta a plantearse cuestiones sobre las funciones cognitivas en términos de operaciones mentales elementales (Gazzaniga *et al.*, 1998).

Otro psicólogo cognitivo clave en este proceso fue Michael I. Posner. Posner se valió de su inagotable ingenio para desarrollar tareas experimentales que permitieran evaluar aspectos simples del procesamiento de la información (Kosslyn y Andersen, 1992), algunas de las cuales le llevaron a demostrar que las representaciones internas son, efectivamente, objeto de transformaciones (Gazzaniga *et al.*, 1998). Un tercera influencia decisiva corresponde a Roger N. Shepard, quien mostró, mediante experimentos conductuales, que el cerebro realiza operaciones análogas, tales como la rotación de objetos. Por ejemplo, en uno de sus experimentos, Shepard halló que el tiempo de rotación mental de un objeto era mayor para ángulos de rotación mayores (Shepard y Cooper, 1982), un tipo de experimentos que, nuevamente, ponía de manifiesto la existencia de representaciones cerebrales internas. En esta línea de pensamiento se sitúan los trabajos de Posner, Kosslyn y muchos otros, a quienes ya sólo les quedaba aguardar al desarrollo de las técnicas de neuroimagen para desembocar en la convergencia de la psicología cognitiva con la neurociencia en una nueva disciplina.

4. La contribución de las ciencias de la computación

La tercera fuente de inspiración de la Neurociencia Cognitiva son las ciencias de la computación. Éstas, y en particular la Inteligencia Artificial proporcionaron a la Neurociencia Cognitiva, desde sus orígenes, el lenguaje para sus explicaciones de la función cerebral (Kosslyn y Andersen, 1992). En efecto, si el propósito de la Inteligencia Artificial es construir máquinas que se comporten inteligentemente, el primer paso hacia este objetivo es caracterizar los procesos elementales del comportamiento inteligente, para programar a continuación jerarquías de estos procesos.

El proceso más simple en Inteligencia Artificial es la “computación”, el cual se relaciona íntimamente con el de “mapeado”: una computación transforma una entrada en una salida; además, puesto que tanto la entrada como la salida conllevan información, la relación entre ambos puede caracterizarse mediante una función matemática (transformación). Así, el concepto de computación, que comporta el de “mapeado”, puede transferirse fácilmente de la máquina al cerebro, como de hecho propusieron los fundadores de las ciencias de la computación (McCulloch y Pitts, 1943; von Neumann, 1958; Wiener, 1948).

Una figura de influencia decisiva en el surgimiento de la Neurociencia Cognitiva fue David Marr (Gazzaniga *et al.*, 1998; Kosslyn y Andersen, 1992). Marr

destacó la importancia de analizar detenidamente los “problemas” que debe resolver el sistema visual (la escena visual) para posibilitar la visión (Marr y Nishihara, 1978). Otra contribución destacada de Marr fue la idea de que la computación se puede entender en múltiples niveles de análisis (Marr y Poggio, 1977). La idea de que los fenómenos pueden analizarse a diferentes niveles no es suya, pero Marr fue más allá al proponer una jerarquía de niveles basada en la idea de que el cerebro lleva a cabo computaciones. En el nivel más bajo de la jerarquía, Marr estableció dos niveles, uno que caracteriza el “qué” se computa (teoría de cálculo) y otro que caracteriza el “cómo” se computa (algoritmo), y los relacionó con un tercero, llamado de implementación. Así, mientras que los dos primeros se describen con el lenguaje de la computación, el tercero requiere el lenguaje de la biología y la biofísica, por cuanto se refiere a las propiedades de las neuronas y sus interacciones físicas. Las ideas de Marr fueron enseguida bien recibidas por la psicología cognitiva, porque sugerían que el nivel cognitivo podía comprenderse por razonamiento lógico, al margen de los mecanismos de implementación (Gazzaniga y cols., 1992; Kosslyn y Andersen, 1992). Sin embargo, la distinción que Marr propuso entre los niveles de algoritmo e implementación a nivel neuronal era muy vaga, probablemente porque no tuvo en cuenta la complejidad del substrato neuronal del cerebro. En ese sentido, las teorías computacionales, como las esbozadas por Marr deben rendirse a la realidad neurobiológica, es decir, deben estar limitadas a los mecanismos reales de funcionamiento cerebral, los cuales pueden ser diferentes para diferentes funciones cerebrales. Aunque la teoría de Marr fue insuficiente para una explicación computacional de las funciones cognitivas, sirvió de estímulo para nuevas aproximaciones computacionales constreñidas por la realidad neurobiológica, como las posteriormente defendidas por Churchland y Sejnowski (1988, 1992).

5. La síntesis de la Neurociencia Cognitiva: el nuevo paradigma

Si algún momento en el curso de la historia debe fijarse como el de aparición explícita de la Neurociencia Cognitiva, ese momento corresponde al año 1988. Ese año se publicaron por lo menos cuatro artículos científicos en la revista *Science*, que pueden considerarse los textos fundacionales de la disciplina, desde los diferentes vértices experimentales que actualmente la sustentan. Además, ese mismo año, la *Fundación James S. McDonnell* y el *Charitable Pew Trust* se unieron, persuadidos por M. S. Gazzaniga (Posner y DiGirolamo, 2000), para iniciar un ambicioso programa de financiación, que en cinco años había invertido cinco millones de dólares en formación e investigación en Neurociencia Cognitiva (Waldrop, 1993), y que aún continúa abierto¹. Al año siguiente, en 1989, se publica el primer volumen de la revista *Journal of Cognitive Neuroscience*², que iba a convertirse en el órgano de expresión más prestigioso de la disciplina.

En su influyente y decisivo artículo, titulado *Localization of cognitive operations in the human brain*, Posner *et al.* (1988) revisan su propio trabajo sobre procesamiento del lenguaje realizado con tomografía por emisión de positrones (TEP), y a partir de este análisis novedoso proponen la hipótesis de que las operaciones mentales que constituyen la base del análisis cognitivo están estrictamente localizadas en el cerebro. Muchas de estas operaciones están implicadas en cualquier tarea cognitiva, de lo que se deduce que un conjunto de áreas cerebrales distribuidas debe orquestarse en la ejecución de, incluso, las tareas cognitivas más simples. Según este punto de vista, las tareas no se ejecutan por ningún área particular del cerebro, pero las operaciones específicas que las sustentan están estrictamente localizadas. Esta idea de circuito distribuido para las funciones mentales o cognitivas se encuentra también en los estudios anatómicos de Goldman-

Rakic (véase Goldman-Rakic, 1988) o de pacientes neurológicos de Mesulam (1981), aunque, según Posner *et al.* (1988), estas teorías de redes neuronales o circuitos distribuidos de los procesos superiores proporcionan poca o nula información sobre la naturaleza de las computaciones llevadas a cabo en los nodos de la red. Precisamente, la contribución cabal de Posner al surgimiento de la Neurociencia Cognitiva consiste en la utilización de la metodología de la substracción de Donders (1868), reintroducida en la psicología cognitiva por Sternberg (1969), para aislar módulos específicos de procesamiento cerebral y determinar, mediante TEP, la localización específica de las computaciones llevadas a cabo en cada uno de los nodos de la red (Kosslyn, 1988).

Igualmente influyente fue el texto de Kosslyn (1988), titulado *Aspects of a Cognitive Neuroscience of mental imagery*, pues constituye un elegante ejemplo de resolución de crisis paradigmática con la propuesta de un nuevo marco de referencia sobre el que basar la investigación científica sobre las funciones cognitivas. Kosslyn estaba interesado en la forma en que las imágenes mentales se construyen en el cerebro, y los datos de la investigación introspectiva y conductual sugerían que esta construcción tenía lugar por partes (del objeto). Sus estudios conductuales se hallaban en una situación de *impasse*, pues su hipótesis era que las imágenes mentales tenían la misma estructura espacial que los objetos reales, pero carecía de los instrumentos apropiados para contrastarla (Waldrop, 1993). Sin embargo, al empezar a utilizar pacientes con lesiones cerebrales específicas (Kosslyn, 1988), y posteriormente al llevar a cabo estudios con TEP (Kosslyn *et al.*, 1993), Kosslyn había conseguido superar la crisis paradigmática con la incorporación del análisis del cerebro al discurso cognitivo.

En otro trabajo seminal, Churchland y Sejnowski (1988) introducen la aproximación computacional a la Neurociencia Cognitiva. En él, enfatizan el hecho de que, además de necesitarse datos experimentales sobre las propiedades de las neuronas y las capacidades psicológicas, se requieren también modelos que expliquen cómo patrones específicos de actividad neuronal representan los objetos del mundo, y cómo las redes nerviosas se desarrollan y aprenden. Estos modelos son necesarios porque sirven para informar, guiar y corregir los diseños experimentales neurobiológicos, a la vez que los nuevos datos así obtenidos sirven para generar modelos más potentes. Según los autores, la neurobiología proporciona restricciones esenciales a las teorías computacionales (y en consecuencia reduce considerablemente el espacio de búsqueda), ya que el espacio neurobiológico es inmenso y existen numerosas soluciones posibles a cómo un problema computacional podría llevarse a cabo. Además, existen datos neurobiológicos muy sugerentes, y se desconoce cuáles son las categorías funcionales en cognición, de tal manera que teorías de bajo nivel (neurobiológicas) podrían ser cruciales para descubrir la naturaleza de la organización a niveles superiores. Sin embargo, la posibilidad de que la cognición quede desvelada cuando conozcamos todos los detalles de la neurobiología es igualmente remota, por lo se hace necesaria teorización genuina sobre la naturaleza de la neurocomputación (Churchland y Sejnowski, 1992).

El artículo de Churchland y Sejnowski (1988) ha resultado también especialmente citado, por cuanto en él se propuso una clasificación de las técnicas propias de las neurociencias en un sistema de coordenadas espacio-tiempo, que todavía aún hoy es vigente.

Desde una óptica algo diferente, aunque igualmente influyente, se publicaron también ese año dos artículos que vinieron a completar el repertorio teórico-metodológico de la Neurociencia Cognitiva. Efectivamente, si en los trabajos de Posner *et al.* (1988), Kosslyn (1998) y Churchland y Sejnowski (1988) se introdujeron respectivamente las perspectivas de la neuroimagen, las técnicas con-

ductuales en pacientes neurológicos y los modelos computacionales, en los trabajos de Zeki y Shipp (1988) y de Wise y Desimone (1988) se encardinaba la naturaleza de las contribuciones del registro de actividad celular unitaria, en animales despiertos que ejecutan tareas complejas, a la comprensión de los procesos cognitivos.

Pero quizás, el artículo donde más claramente se define el nuevo paradigma de la Neurociencia Cognitiva es el de Gazzaniga, *Organization of the human brain*, publicado también en *Science* un año más tarde, en 1989. Gazzaniga ofrece aquí una perspectiva de la Neurociencia Cognitiva similar a la de Kosslyn (1988), basada en el estudio de pacientes con lesiones cerebrales mediante los métodos de la psicología experimental, aunque tal vez de forma más convincente. Según este autor, estudios de esta naturaleza ofrecen una nueva visión sobre la organización cerebral de la cognición humana, a saber, que el cerebro está organizado estructural y funcionalmente en unidades discretas, o “módulos”, que operan en paralelo y que interaccionan entre sí para producir las actividades mentales. Con este planteamiento, se formaliza el abordaje paradigmático de la Neurociencia Cognitiva –el módulo como estructura elemental de procesamiento de la información– y se fijan sus propósitos: determinar su localización en el cerebro y establecer la forma en que interaccionan entre sí para sustentar las actividades cognitivas.

Con estas publicaciones en 1988-89 se ha configurado una nueva forma de abordar las relaciones mente-cerebro, la Neurociencia Cognitiva, como disciplina científica con identidad paradigmática propia, caracterizada por el uso de los paradigmas experimentales propios de la psicología cognitiva para el estudio de la actividad cerebral. Esta nueva ciencia se basa en los siguientes presupuestos “paradigmáticos”: 1) que la percepción y la acción dependen de representaciones cerebrales internas y sus transformaciones, 2) que las actividades mentales pueden descomponerse en operaciones elementales de procesamiento (de la información), 3) que estas operaciones tienen localización estricta en el cerebro (noción de “módulo”), y 4) que estos módulos interaccionan entre sí para sustentar las actividades mentales. Este modelo, que en los años iniciales de la Neurociencia Cognitiva no disponía de los instrumentos apropiados para ser validado (Gazzaniga, 1984; Churchland y Sejnowski, 1988; Kosslyn y Shin, 1992), se sustenta en cuatro aproximaciones experimentales convergentes y complementarias: a) el registro de actividad neuronal con microelectrodos en animales (y en algunos casos excepcionales en humanos), b) las técnicas de neuroimagen (tanto electro-magnética como hemodinámica), c) el estudio de pacientes neurológicos, y d) en la modelización computacional. Esta unión interdisciplinar ha significado un progreso substancial en nuestra comprensión actual sobre el cerebro humano, aunque, como algunos han señalado, todavía tiene un largo camino por recorrer (Gazzaniga, 2000a).

6. ¿Un paradigma en crisis?

Desde los primeros años de la Neurociencia Cognitiva, en que sus estudios se realizaban en pacientes con lesiones cerebrales (Gazzaniga, 1989; Kosslyn, 1988), o mediante registros de potenciales evocados cerebrales de pocos canales (Hillyard y Picton, 1987; Kutas y Hillyard, 1984) o tomografía por emisión de positrones (Posner *et al.*, 1988), la Neurociencia Cognitiva ha experimentado una rápida y progresiva expansión, especialmente gracias al desarrollo de otras técnicas, tales como la resonancia magnética funcional (RMf; Belliveau *et al.*, 1991), la magnetoencefalografía multicanal de cabeza completa (MEG; Näätä-

nen, Ilmoniemi y Alho, 1994) y los registros de potenciales evocados de alta densidad (Gevins, Leong, Smith, Le y Du, 1995).

Sin embargo, en su corta existencia como disciplina científica con identidad propia, hay ya algunos autores que consideran que la Neurociencia Cognitiva ha entrado en crisis paradigmática, y que es necesario una reconsideración de sus planteamientos y presupuestos para dar con una explicación cabal de la función cerebral. A propósito de una reseña de la recientemente reeditada obra de Gazzaniga (2000b), *The new Cognitive Neurosciences*, Fuster (2000) se cuestiona si el concepto central de la Neurociencia Cognitiva, el módulo cortical de la cognición, tiene todavía vigencia. Para Fuster, como ya se ha comentado, "toda neurociencia es cognitiva", y la Neurociencia Cognitiva como disciplina surgida de la unión entre la psicología cognitiva y la neurociencia, e interesada en localizar en el cerebro los constructos propios de esta psicología, no dista "... de una nueva frenología validada más o menos por el método científico" (pp. 52). También Sarter, Bernston y Cacioppo (1996) se percatan de esta limitación, al considerar que la aplicación sistemática del paradigma neurocognitivo (la localización del módulo cortical) puede llevar a la emergencia de un localizacionismo mentalista, lo cual puede, y ha de evitarse mediante la convergencia de diferentes estrategias de investigación sobre la función cognitiva (por ejemplo, manipulando procesos neuronales locales). De hecho, se constata ya un creciente interés por "comprender" los mecanismos subyacentes a las conductas complejas, en oposición al mero interés por localizarlos (Miyashita y Farah, 2001).

Fuster (2000) observa que, a pesar de que las funciones cognitivas puedan separarse y diseccionarse experimentalmente, esto no implica una estructura neuronal independiente para cada una de ellas: obviamente, las funciones cognitivas son interdependientes, y la estrategia de la Neurociencia Cognitiva de adscribir diferentes operaciones cognitivas o módulos a diferentes áreas corticales, aunque guiada por el método científico y la experimentación, se apoya en evidencia débil debido a presupuestos paradigmáticos no siempre sostenibles (véanse D'Esposito, 2000; Friston, 1997; para una discusión de estos presupuestos). Así pues, según Fuster, nos hallamos ante una clásica crisis de paradigma científico —en sentido kuhniano (*siò*), que proviene, en gran medida, de una sobregeneralización de la realidad modular de la fisiología sensorial, y se nutre de los intentos de convertir los substratos anatómo-fisiológicos de la mente en simples módulos.

Sin embargo, Fuster cree atisbar los albores de un nuevo paradigma, el del modelo de red de la neurocognición, que por cierto es también vislumbrado por otros autores (por ejemplo, Kandel *et al.*, 2001, parte IV; McInctosh, Fitpatrick y Friston, 2001). Según este modelo, la información cognitiva está representada en redes neuronales solapadas y profusamente interconectadas del neocórtex, que trascienden áreas y módulos de cualquier definición. La especificidad de la red deriva esencialmente de las conexiones entre sus unidades elementales (asambleas de neuronas o módulos), que no son contiguas, es decir, que se hallan dispersas por el córtex. La función cognitiva emerge irreductiblemente, más que de los constituyentes de la red, de las relaciones entre éstos, de naturaleza probablemente no lineal, haciendo especialmente válida la máxima de que el todo es mayor que la suma de sus partes (Cowan y cols., 2001). Seguramente, el uso combinado de las diferentes metodologías disponibles para la Neurociencia Cognitiva, incluidas las lesiones reversibles, el registro de potenciales evocados, los registros con microelectrodos, la resonancia magnética funcional y los modelos de redes computacionales contribuirán a validar este nuevo paradigma (Sarter *et al.*, 1996; Fuster, 2000; Müller y Mayers, 2001).

De todas maneras, es posible que el paradigma del módulo tenga aún su vigencia. No tanto porque las funciones cognitivas estén estrictamente localizadas, por cuanto que en la formulación original de la Neurociencia Cognitiva contiene la idea de red distribuida. Al fin y al cabo, en sus planteamientos originales la disciplina ya se planteaba investigar cómo los módulos interactuaban entre sí para originar las actividades mentales (Posner *et al.*, 1988; Kosslyn, 1988; Gazzaniga, 1989). De hecho, Kosslyn y Anderson (1992) formulan explícitamente la idea de que la clave para la comprensión del funcionamiento cerebral es darse cuenta de que las funciones complejas tales como la percepción, la memoria, el razonamiento, o el movimiento se llevan a cabo por una abanico de procesos subyacentes, cada uno de los cuales contribuye únicamente en parte a la habilidad. Se trata de procesos simples y mecánicos, que ejecutan de forma refleja una operación específica de procesamiento cuando se les suministra el input apropiado. Son precisamente estos procesos simples los que son llevados a cabo en una región cerebral discreta. Así, cualquier habilidad puede llevarse a cabo de muchas maneras diferentes, según diferentes combinaciones de procesos elementales. Además, la comprensión del funcionamiento requiere la identificación de las computaciones en cada uno de sus nodos. Quizás, la crisis paradigmática provenga más del fracaso del modelo de la Neurociencia Cognitiva para satisfacer empíricamente esta formulación que de la ausencia de la formulación de red distribuida como tal.

7. La Neurociencia Cognitiva actual

A lo largo de los pocos años de su corta existencia, la Neurociencia Cognitiva ha visto como se multiplicaban los estudios en todos los ámbitos de las funciones cognitivas, incluidas la atención (Parasuram, 2000), la atención visual (Schneider y Maasen, 1998), la visión (Farah, 2000), la acción (Jeannerod, 1997), la memoria (Nilsson y Markowitsch, 1999) y la conciencia (Dehaene, 2001). Actualmente, no aparece publicado un solo volumen de las revistas *Annual Review of Neuroscience*, *Trends in Neuroscience*, *Nature Reviews Neuroscience*, *Current Opinion in Neurobiology*, y muchas otras de primer nivel, sin que incluyan algún artículo de revisión de alguno de los grandes temas de la Neurociencia Cognitiva. Impulsora de este auge es la *Cognitive Neuroscience Society* (CNS), fundada en 1994 por Michael S. Gazzaniga, y que aglutina neurocientíficos cognitivos de todo el mundo, con una afiliación que ha pasado de unos 900 socios en 1998 a unos 2000 en el año 2002³, y cuya reunión anual ha experimentado un crecimiento del 600%! en asistencia entre su primera celebración en 1994 y la del año 2001 (Gazzaniga, Ivry y Mangun, 2002).

Cuatro son los ámbitos donde más espectacularmente está avanzando la Neurociencia Cognitiva en la actualidad. En primer lugar, constantemente se están produciendo avances tecnológicos, como los que han permitido hacer realidad la reivindicación de varios autores, sobre la necesidad de combinar los métodos propios de la disciplina, en especial los que proporcionan alta precisión espacial (TEP y RMf) con los de mayor resolución temporal (PEs/MEG) (Fuster, 2000; Müller y Mayes, 2001; Posner y DiGirolamo, 2000; Sarter *et al.*, 1996). En efecto, desde el trabajo pionero de Heinze *et al.* (1994), donde se combinaron TEP y PEs para el estudio de la atención selectiva, y las propuestas metodológicas de Luck (1999), han empezado a aparecer los primeros estudios donde se combinan RMf y PEs, como por ejemplo en el de Rodríguez-Fornells, Rotte, Heinze, Nosselt y Münte (2002) sobre bilingüismo. Por otro lado, con el desarrollo de aparatos de resonancia magnética cada vez más potentes se está consiguiendo aumentar la resolución espacial de la técnica hasta límites hace pocos años impensables,

como por ejemplo para cartografiar columnas de iso-orientación en el córtex visual primario de gatos (Dae-Shik y cols., 2000) o de dominancia ocular en sujetos humanos (Cheng, Waggoner y Tanaka, 2001).

Otra dirección actual de la Neurociencia Cognitiva corresponde a lo que se ha dado en llamar la neurociencia cognitivo-social. Éste es un campo de investigación emergente interdisciplinar (Miyashita y Farah, 2001), que busca entender fenómenos conductuales en términos de la interacción de tres niveles: el nivel social, en los factores motivacionales y sociales que influyen en la conducta y la experiencia; el nivel cognitivo, que se interesa por los mecanismos del procesamiento de la información que dan lugar a los fenómenos del nivel social, y el nivel neurológico, que aborda los mecanismos cerebrales que sustentan el procesamiento cognitivo (Ochsner y Lieberman, 2001). Ejemplos de investigación en esta área son los estereotipos raciales (Phelps *et al.*, 2000), las actitudes y el cambio de actitud (Adolphs y Tranel, 1999), la percepción de la gente (Hoffman y Haxby, 2000), o la interacción entre las emociones y la cognición, un ámbito de investigación que está dando lugar también a un área temática propia (Lane y Lynn, 2000).

Por otra parte, la Neurociencia Cognitiva está empezando a ocuparse de la transferencia de los resultados obtenidos en investigación básica a ámbitos clínicos, especialmente de la psiquiatría (Carter, 2001; Spitzer, 1997) o de los trastornos del desarrollo (McMahon, 1999; Swanson, Castellanos, Murias, LaHoste y Kennedy, 1998). Un claro ejemplo de esta dirección lo ofrece, según Müller y Mayers (2001), el potencial de disparidad (MMN), con el cual venimos trabajando desde hace ya unos cuantos años (véase, por ejemplo, Escera, 1997, 2001). MMN es un componente del EEG que se ha utilizado ampliamente para comprender los mecanismos neuronales de la atención auditiva (por ejemplo, Escera, Alho, Schröger & Winkler, 2000), y como potente herramienta para investigar alteraciones perceptivas (Escera, 2001; Näätänen, 1995) o plasticidad cerebral (Kujala, Alho y Näätänen, 2001) en cierta clase de pacientes (Müller y Mayers, 2001). Su utilización en estos contextos, tanto de investigación básica como clínica, constituye un claro ejemplo de "ciencia normal" (en sentido kuhniiano): MMM proporciona un indicador neuroelétrico de la activación de ciertos módulos de procesamiento cerebral, así como de la naturaleza de las representaciones del sonido en el córtex auditivo (Näätänen, 2000; Näätänen, Tervaniemi, Sussman, Paavilainen y Winkler, 2001; Näätänen y Winkler, 1999).

Finalmente, el futuro a largo plazo de la Neurociencia Cognitiva podría pasar por la convergencia con la biología molecular de la cognición, aunque el conocimiento neurobiológico actual dista mucho de proporcionar todavía explicación molecular alguna de los procesos cognitivos en general. Sin embargo, en opinión de Eric R. Kandel, premio Nobel en Medicina en el año 2000, por sus aportaciones al conocimiento de los mecanismos moleculares del aprendizaje y la memoria, esta síntesis entre cognición y moléculas se da ya en algunos ámbitos, como el de la plasticidad sináptica y el almacenamiento en memoria (Kandel y Squire, 2000). Así, sus estudios en el molusco *Aplysia* han mostrado que formas simples de aprendizaje, tales como la habituación o el condicionamiento, resultan en cambios funcionales y estructurales a nivel sináptico (Bailey, Bartsch y Kandel, 1996), a la vez que estudios genéticos en la mosca de la fruta (*Drosophila*) han llevado a la identificación de varias moléculas implicadas en la memoria (Yin y Tully, 1996). Estudios en esta línea, junto con los de plasticidad neuronal, que indican que la memoria a largo plazo comporta cambios funcionales y estructurales en el sistema nervioso central (Elbert, Pantev, Wienbruch, Rockstroh y Taub, 1995), auguran rápidos avances en nuestro conocimiento sobre el substrato biológico de la mente.

8. La Neurociencia Cognitiva y sus relaciones con la Psicobiología

Hasta el momento no se han abordado las relaciones entre la Neurociencia Cognitiva y la Psicobiología, y cabe preguntarse cómo éstas se articulan. Como hemos visto en secciones anteriores, Neurociencia Cognitiva y Psicología Fisiológica tienen algunas raíces comunes, aunque luego divergieron en el curso de la historia para consolidarse como disciplinas con identidad propia por la influencia de otros antecedentes particulares. En el caso de la Neurociencia Cognitiva, éstos sin duda provienen de la psicología cognitiva. Pero al margen de sus desarrollos históricos, la Neurociencia Cognitiva, en tanto que disciplina que combina el objeto de estudio de la Psicología (la conducta, en su acepción más amplia, que incluye las actividades no observables, tales como las mentales –como por ejemplo en Segovia y Guillamón, 1991) con los métodos y las técnicas de las ciencias biológicas, ha de considerarse, como explícitamente hacen por ejemplo Rosenzweig, Leiman y Breedlove (2001), como una disciplina más de la Psicobiología. En efecto, buena parte de su aproximación a la conducta proviene de planteamientos psicofisiológicos (estudio de sujetos humanos sanos mediante registros electrofisiológicos), y neuropsicológicos (estudio de pacientes con lesiones cerebrales mediante métodos conductuales). La Neurociencia Cognitiva también se nutre de la Psicología Fisiológica, en su versión más restringida (Dewsbury, 1991; Milner y White, 1987), al utilizar registros de actividad neuronal (unicelular o multiunitaria) en animales. No obstante, más alejados de la Neurociencia Cognitiva quedan otros planteamientos psicobiológicos, tales como la Psicofarmacología, la Genética de la Conducta o la Etología.

En este marco psicobiológico, la Neurociencia Cognitiva constituye un disciplina de síntesis, donde convergen muchos de los planteamientos de la Psicología Fisiológica, la Psicofisiología y la Neuropsicología. Con las tres comparte objeto de estudio: las bases biológicas de la conducta, y estrategia de investigación: la combinación de los métodos propios de las ciencias conductuales y biológicas. Sin embargo, a pesar de mantener estrechas relaciones con estas disciplinas psicobiológicas, la Neurociencia Cognitiva establece límites claros con cada una de ellas.

Con la Psicología Fisiológica, según la entienden Puerto (1985), Carlson (1996), del Abril *et al.* (2001), entre otros, comparte métodos (fundamentalmente el de registro, aunque recientemente los de estimulación y lesión, gracias a la técnica de estimulación magnética transcraneal (TMS), cuyos efectos emulan lesiones transitorias; Pascual-Leone, Walsh y Rothwell, 2000; Walsh y Cowey, 2000), pero no se interesa por sus grandes temas de investigación: sexo, hambre, sed, conducta maternal, o sus aproximaciones más moleculares a los procesos conductuales (por ejemplo a nivel hormonal, neuroquímico, de receptor, etcétera), que generalmente se llevan a cabo en estudios en animales.

Con la Psicofisiología, tal como la definen Coles, Donchin y Porges (1986), Martínez-Selva (1995) o Carretié (2001), comparte en gran medida el objeto de estudio: los correlatos fisiológicos de la conducta en sujetos humanos, y especialmente algunas de sus técnicas: el registro de actividad electromagnética cerebral (espontánea o provocada). De hecho, en sus orígenes más inmediatos, antes de la aparición de las técnicas de neuroimagen hemodinámica, la Neurociencia Cognitiva podía nutrirse únicamente de la Psicofisiología Cognitiva (Donchin y cols., 1976; Donchin, Karis, Bashore, Coles y Gratton, 1986), pues los potenciales evocados constituían la única técnica disponible para obtener medidas fisiológicas no invasivas de actividad cerebral en sujetos humanos (Hillyard, 1993; Hillyard y Picton, 1987). Sin embargo, la aparición de la tomografía por emisión de positrones, y posteriormente la resonancia magnética funcional, relega-

ron a un segundo plano las técnicas psicofisiológicas, pues la mejor resolución espacial de aquéllas las convertía en el instrumento óptimo para localizar en el cerebro el substrato modular de la cognición. Actualmente, con la aparente crisis paradigmática localizacionista de la Neurociencia Cognitiva (Fuster, 2000), estamos presenciando un renovado interés por la aproximación psicofisiológica a la cognición, pues la insuperable resolución temporal de las técnicas que utiliza la erigen en la aproximación más apropiada para establecer la neurodinámica temporal de la cognición.

La Psicofisiología es, sin embargo, una disciplina mucho más amplia, pues se ocupa de otros temas (motivación, estrés, sueño) y utiliza otras variables y técnicas (basadas en el registro de la actividad vegetativa) que no son propias de la Neurociencia Cognitiva.

Con la Neuropsicología, según las definiciones de Junqué y Barroso (1995) o Kolb y Wishaw (2001), tiene también mucho en común. Ambas disciplinas comparten objetivo específico de estudio: las funciones psíquicas complejas y sus relaciones con la corteza cerebral. También comparten sujeto de estudio, el humano, y, en parte, aproximación experimental, el estudio de pacientes neurológicos con métodos conductuales y el uso de técnicas de neuroimagen. A pesar de ello, existen diferencias evidentes que permiten a ambas disciplinas beneficiarse mutuamente sin renunciar a la propia identidad.

En primer lugar, la diferencia más destacada entre ambas disciplinas tiene que ver con la naturaleza de las pruebas conductuales que utilizan. En Neuropsicología es habitual el uso de pruebas psicométricas específicas de funciones cerebrales, habitualmente adaptadas y normalizadas para el contexto cultural donde se utilizan (tests estandarizados), tales como las escalas de inteligencia y memoria de Weschler, el test de memoria visual de Benton, la Figura Compleja de Rey, o baterías de exploración neuropsicológica, tales como la Halstead-Reitan o la Luria-Nebraska, aunque en investigación, en contraste con las aplicaciones clínicas, estos tests no se usan como instrumentos estandarizados, sino que las medidas que se recogen en el grupo de pacientes se comparan con las de un grupo control (Junqué y Barroso, 1995). La Neuropsicología utiliza también paradigmas propios de la psicología experimental, tales como los de Stroop, PASAT o Sternberg, y paradigmas adoptados de la experimentación animal, que incluyen, entre otros ejemplos, tareas de discriminación perceptiva, de apareamiento, de respuesta demorada, etcétera (Junqué y Barroso, 1995). La Neurociencia Cognitiva, en cambio, utiliza paradigmas experimentales diseñados a propósito para poner a prueba hipótesis específicas sobre la organización cerebral de las funciones cognitivas que se pretende investigar, muchas veces importados o adaptados de modelos de la psicología cognitiva, como por ejemplo el de "inhibición de retorno" para el estudio de la atención (Posner, Rafal, Choate y Vaughan, 1985). Su estrategia principal de investigación se basa en el método de la substracción de Donders (1868), reintroducido en la psicología cognitiva por Sternberg (1969) y profusamente utilizado por Posner (por ejemplo, Posner, 1986) para aislar unidades elementales de procesamiento cognitivo.

Neurociencia Cognitiva y Neuropsicología también difieren en la naturaleza de las explicaciones que formulan sobre las funciones cerebrales. Generalmente, la explicación neuropsicológica se da en términos de circuitaría cerebral implicada (neuroanatómica), mientras que la explicación neurocognitiva es computacional: se contruye en términos de las computaciones que tienen lugar en los nodos de la red, es decir, en términos de las transformaciones de la información entre la entrada y la salida del nodo, o incluso se intenta modelar funcionalmente mediante modelos simulados de redes neuronales.

Notas

¹ <http://www.jsmf.org>

² <http://jocn.mitpress.org/>

³ <http://www.cogneurosociety.org/>

Referencias

- ADOLPHS, R. & TRANEL, D. (1999). Preferences for visual stimuli following amygdala damage. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *11*, 610-616.
- ALBRIGHT, T. D., KANDEL, E. R. & POSNER, M. I. (2000). Cognitive neuroscience. *Current Opinion in Neurobiology*, *10*, 612-624.
- ALBRIGHT, T. D. & NEVILLE, H. J. (2000). Neurosciences. En R. A. Wilson & F. C. Keil (Eds.), *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences* (pp. li-lxxii). Cambridge, MA: The MIT Press.
- AMENEDO, E. & DÍAZ, F. (1998). Automatic and effortful processes in auditory memory reflected by event-related potentials. Age-related findings. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *108*, 361-369.
- AMENEDO, E. & ESCERA, C. (2000). The accuracy of sound duration representation in the human brain determines the accuracy of behavioural perception. *European Journal of Neuroscience*, *12*, 2570-2574.
- ATIENZA, M. & CANTERO, J. L. (2001). Complex sound processing during human REM sleep by recovering information from long-term memory as revealed by the mismatch negativity (MMN). *Brain Research*, *901*, 151-160.
- ATIENZA, M., CANTERO, J. L. & ESCERA, C. (2001). Auditory information processing during human sleep as revealed by event-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*, *112*, 2031-2045.
- BARCELÓ, F. (2001). Does the Wisconsin Card Sorting Test measure prefrontal function?. *Spanish Journal of Psychology*, *4*, 79-100.
- BARCELÓ, F., SUWAZONO, S. & KNIGHT, R. T. (2000). Prefrontal modulation of rapid extrastriate processing in humans. *Nature Neuroscience*, *3*, 399-403.
- BARD, P. (1938). Studies of the cortical representation of somatic sensibility. *Bulletin of the New York Academy of Medicine*, *14*, 585-607.
- BAILEY, C. H., BARTSCH, D. & KANDEL, E. R. (1996). Toward a molecular definition of long-term memory storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *93*, 13445-13452.
- BELLIVEAU, J. W., KENNEDY, D. N., MCKINSTRY, R. C., BUCHBINDER, B. R., WEISSKOFF, R. M., COHEN, M. S., VEVEA, J. M., BRADY, T. J. & ROSEN, B. R. (1991). Functional mapping of the human visual cortex by magnetic resonance imaging. *Science*, *254*, 716-719.
- BORING, E. G. (1990). *Historia de la Psicología experimental*. México: Trillas.
- BRUGGE, J. F. & REALE, A. (1985). Auditory cortex. En A. Peters & E. G. Jones (Eds.), *Cerebral cortex, vol. 4 Association and auditory cortices* (pp. 229-271). Nueva York: Plenum Press.
- CABEZA, R. & NYBERG, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*, 1-47.
- CANTERO, J. L., ATIENZA, M., SALAS, R. M. & DOMÍNGUEZ-MARÍN, E. (2002). Effects of prolonged waking-auditory stimulation on EEG synchronization and cortical coherence during subsequent slow wave sleep. *Journal of Neuroscience*, *22*, 4702-4708.
- CAPARRÓS, A. (1984). *La Psicología y sus perfiles*. Barcelona: Barcanova.
- CARLSON, N. S. (1996). *Fisiología de la conducta*. Barcelona: Ariel.
- CARRETÉ, L. (2001). *Psicofisiología*. Madrid: Pirámide.
- CARRETÉ, L., MARTÍN-LOECHES, M., HINOJOSA, J. A. & MERCADO, F. (2001). Emotion and attention interaction studied through event-related potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *13*, 1109-1128.
- CARTER, C. S. (2001). Cognitive neuroscience: The new neuroscience of the mind and its implications for psychiatry. En J. M. Morihisa (Ed.), *Advances in brain imaging. Review of psychiatry* (vol. 20, núm. 4, pp. 25-52). Washington, DC: American Psychiatric Publishing.
- CHENG, K., WAGGONER, R. A. & TANAKA, K. (2001). Human ocular dominance columns as revealed by high-field functional magnetic resonance imaging. *Neuron*, *32*, 359-374.
- CHURCHLAND, P. S. & SEJNOWSKI, T. J. (1988). PERSPECTIVES ON COGNITIVE NEUROSCIENCE. *SCIENCE*, *242*, 741-745.
- CHURCHLAND, P. S. & SEJNOWSKI, T. J. (1992). *The computational brain*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- COLES, M. G. H., DONCHIN, E. & PORGES, S. W. (Eds.) (1986). *Psychophysiology: Systems, processes, and applications*. Amsterdam: Elsevier.
- COWAN, M. W., HARTER, D. H. & KANDEL, E. R. (2000). The emergence of modern neuroscience: Some implications for neurology and psychiatry. *Annual Review of Neuroscience*, *23*, 343-391.
- DEL ÁBRIL, A., AMBROSIO, E., DE BLAS, M. R., CAMINERO, A. A., GARCÍA-LECUMBERRI, C., DE PABLO, J. M. & SANDOVAL, E. (2001). *Fundamentos biológicos de la conducta*. Madrid: Sanz y Torres.
- DEHAENE, S. (Ed.) (2001). *The cognitive neuroscience of consciousness*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- D'ESPOSITO, M. (2000). Functional neuroimaging of cognition. *Seminars in Neurology*, *20*, 487-498.
- DEWSBURY, D. A. (1991). Psychobiology. *American Psychologist*, *46*, 198-205.
- DEYOE, E. A. & VAN ESSEN, D. C. (1988). Concurrent processing streams in monkey visual cortex. *Trends in Neurosciences*, *11*, 219-226.
- DOMÍNGUEZ, A., DE VEGA, M. & BARBER, H. (2004) Event-related brain potentials elicited by morphological, homographic, orthographic and semantic priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *16*, 598-608.
- DONCHIN, E., KARIS, D., BASHORE, T. R., COLES, M. G. H. & GRATTON, G. (1986). Cognitive psychophysiology and human information processing. En M. G. H. Coles, E. Donchin & S. W. Porges (Eds.), *Psychophysiology: Systems, processes, and applications* (pp. 244-257). Amsterdam: Elsevier.
- DONCHIN, E., RITTER, W. & MCCALLUM, W. C. (1978). Cognitive psychophysiology: The endogenous components of the ERP. En E. Callaway, P. Tueting & S. H. Koslow (Eds.), *Event-related potentials in man* (pp. 349-441). Nueva York: Academic Press.
- ELBERT, T., PANTEV, C., WIENBRUCH, C., ROCKSTROH, B. & TAUB, E. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, *270*, 305-307.

- ESCERA, C. (1997). Nuevas aplicaciones clínicas de los potenciales evocados: Mismatch Negativity. *Medicina Clínica*, 108, 701-708.
- ESCERA, C. (2001). Trastornos de la audición. En M.A. Simón & E. Amenedo (Eds.), *Manual de psicofisiología clínica* (pp. 217-250). Madrid: Pirámide.
- ESCERA, C., ALHO, K., SCHRÖGER, E. & WINKLER, I. (2000). Involuntary attention and distractibility as evaluated with event-related brain potentials. *Audiology & Neuro-Otology*, 5, 151-166.
- ESCERA, C., ALHO, K., WINKLER, I. & NÄÄTÄNEN, R. (1998). Neural mechanisms of involuntary attention to acoustic novelty and change. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 590-604.
- ESCERA, C., CORRAL, M. J. & YAGO, E. (2002). An electrophysiological and behavioral investigation of involuntary attention towards auditory frequency, duration and intensity changes. *Cognitive Brain Research*, en prensa.
- ESCERA, C., YAGO, E. & ALHO, K. (2001). Electrical responses reveal the temporal dynamics of brain events during involuntary attention switching. *European Journal of Neuroscience*, 14, 877-883.
- FARAH, M. (2000). *The cognitive neuroscience of vision*. Malden, MA: Blackwell Publishers.
- FINGER, S. (1984). *Origins of Neuroscience*. Nueva York: Oxford University Press.
- FRISTON, K. J. Imaging cognitive anatomy. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, 21-27.
- FUENTES, L. J., CARMONA, E., AGIS, I. F. & CATENA, A. (1994). The role of the anterior attention system in semantic processing of both foveal and parafoveal words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6, 17-25.
- FUSTER, J. M. (2000). The module: Crisis of a paradigm. *Neuron*, 26, 51-53.
- FUSTER, J. M. & ALEXANDER, G. E. (1971). Neuron activity related to short-term memory. *Science*, 173, 652-654.
- GAZZANIGA, M. S. (Ed.) (1984). *Handbook of cognitive neuroscience*. Nueva York: Plenum Press.
- GAZZANIGA, M. S. (1989). Organization of the human brain. *Science*, 245, 947-952.
- GAZZANIGA, M. S. (Ed.) (1995). *The cognitive neurosciences*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- GAZZANIGA, M. S. (Ed.) (1997). *Conversations in the cognitive neurosciences*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- GAZZANIGA, M. S. (Ed.) (2000a). *Cognitive neuroscience: a reader*. Malden: Blackwell Publishers.
- GAZZANIGA, M. S. (Ed.) (2000b). *The new cognitive neurosciences*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- GAZZANIGA, M. S., IVRY, R. B. & MANGUN, G. R. (1998). *Cognitive neuroscience: The biology of mind*. Nueva York: Norton.
- GAZZANIGA, M. S., IVRY, R. B. & MANGUN, G. R. (2002). *Cognitive neuroscience: The biology of mind*, second edition. Nueva York: Norton.
- GEVINS, A., LEONG, H., SMITH, M. E., LE, J. & DU, R. (1995). Mapping cognitive brain function with modern high-resolution electroencephalography. *Trends in Neurosciences*, 18, 429-436.
- GOLDMAN-RAKIC, P. S. (1988). Topography of cognition: Parallel distributed networks in primate association cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 11, 137-156.
- HACKLEY, S. & VALLE-INCLÁN, F. (1998). Automatic alerting does not speed late motoric processes in a reaction-time task. *Nature*, 391, 786-788.
- HACKLEY, S. & VALLE-INCLÁN, F. (1999). Accessory stimulus effects on response selection: Does arousal speed decision making?. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 321-329.
- HEINZE, H. J., MANGUN, G. R., BURCHET, W., HINRICHS, H., SCHOLZ, M., MÜNTE, T. F., GÖS, A., SCHERG, M., JOHANNES, S., HUNDESHAGEN, H., GAZZANIGA, M. S. & HILLYARD, S.A. (1994). Combined spatial and temporal imaging of brain activity during visual selective attention in humans. *Nature*, 372, 543-546.
- HILLYARD, S. A. (1993). Electrical and magnetic brain recordings: Contributions to Cognitive Neuroscience. *Current Opinion in Neurobiology*, 3, 710-717.
- HILLYARD, S. A. & PICTON, T. W. (1987). Electrophysiology of cognition. *Handbook of Physiology*, 2, 519-584.
- HOFFMAN, E. A. & HAXBY, J. V. (2000). Distinct representations of eye gaze and identity in the distributed human neural system for face perception. *Nature Neuroscience*, 3, 80-84.
- HUBEL, D. H. & WIESEL, T. N. (1959). Receptive fields of single neurons in the cat's striate cortex. *Journal of Physiology*, 148, 574-591.
- JEANNEROD, M. (1997). *The cognitive neuroscience of action*. Oxford, UK: Blackwell.
- JUNQUÉ, C. & BARROSO, J. (1995). *Neuropsicología*. Madrid: Debate.
- KANDEL, E. R., SCHWARTZ, J. H. & JESSELL, T. M. (1997). *Neurociencia y conducta*. Madrid: Prentice Hall.
- KANDEL, E. R., SCHWARTZ, J. H. & JESSELL, T. M. (Eds.) (2001). *Principios de Neurociencia*. Madrid: McGraw Hill – Interamericana.
- KANDEL, E. R. & SQUIRE, L. R. (2000). Neuroscience: Breaking down scientific barriers to the study of brain and mind. *Science*, 290, 1113-.
- KIM, D. S., DUONG, T. K. & KIM, S. G. (2000). High-resolution mapping of iso-orientation columns by fMRI. *Nature Neuroscience*, 3, 164-169.
- KOLB, B. & WHISHAW, I. Q. (2001). *An Introduction to Brain and Behavior*. Nueva York: Worth Publishers.
- KOSSLYN, S. M. (1988). Aspects of a cognitive neuroscience of mental imagery. *Science*, 240, 1621-1626.
- KOSSLYN, S. M., ALPERT, N. M., THOMPSON, W. L., MALJKOVIC, V., WEISS, S. B., CHABRIS, C. F., HAMILTON, S. E., RAUCH, S. L. & BUONANNO, F. S. (1993). Visual mental imagery activates topographically organized visual cortex: PET investigations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 263-287.
- KOSSLYN, S. M. & ANDERSEN, R. A. (Eds.) (1992). *Frontiers in Cognitive Neuroscience*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- KOSSLYN, S. M. & SHIN, L. M. (1992). The status of cognitive neuroscience. *Current Biology*, 2, 146-149.
- KUHN, T. S. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- KUJALA, T., ALHO, K. & NÄÄTÄNEN, R. (2001). Cross-modal reorganization of human cortical functions. *Trends in Neuroscience*, 23, 115-120.
- KUTAS, M. & HILLYARD, S.A. (1984). Event-related potentials in cognitive science. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *Handbook of cognitive neuroscience* (pp. 387-410). Nueva York: Plenum Press.
- LANE, R. D. & LYNN, N. (Eds.) (2000). *Cognitive neuroscience of emotion*. Nueva York: Oxford University Press.
- LEDoux, J. E. & HIRST, W. (Eds.) (1986). *Mind and brain: dialogues in cognitive neuroscience*. Nueva York: Cambridge University Press.
- LOTZE, M., MONTOYA, P., ERB, M., HÜLSMANN, E., FLOR, H., KLOSE, U., BIRBAUMER, N. & GRODD, W. (1999). Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 491-501.

- LUCK, S. J. (1999). Direct and indirect integration of event-related potentials, functional magnetic resonance images, and single-unit recordings. *Human Brain Mapping*, 8, 115-120.
- MARR, D. & NISHIHARA, H. K. (1978). Visual information processing: Artificial intelligence and the sensorium of light. *Technology Review*, 81, 2-23.
- MARR, D. & POGGIO, T. (1977). From understanding computation to understanding neural circuitry. *Neuroscience Research Program Bulletin*, 15, 470-488.
- MARTÍN-LOECHES, M., HINOJOSA, J. A., FERNÁNDEZ-FRÍAS, C. & RUBIA, F. (2001). Functional differences in the semantic processing of concrete and abstract words. *Neuropsychologia*, 39, 1086-1096.
- MARTÍNEZ SELVA, J. M. (1995). *Psicofisiología*. Madrid: Síntesis.
- MCCULLOCH, W. S. & PITTS, W. (1943). A logical calculus of the ideas imminent in nervous activity. *Bulleting of Mathematical Biophysics*, 5, 115-133.
- MCINTOSH, A. R., FITPATRICK, S. M. & FRISTON, K. J. (2001). On the marriage of cognition and neuroscience. *Neuroimage*, 14, 1231-1237.
- MCMAHON, W. M. (1999). Advances in the cognitive neuroscience of neurodevelopmental disorders: Views from child psychiatry and medical genetics. En H. Tager-Flusberg (Ed.), *Neurodevelopmental disorders* (pp. 583-600). Cambridge, MA: The MIT Press.
- MEHLER, J., WALKER, E. C. T. & GARRET, M. (Eds.) (1982). *Perspectives on mental representations: Experimental and theoretical studies of cognitive processes and capacities*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- MERZENICH, M. M., KAAS, J. H., SUR, M. & LIN, C. S. (1978). Double representation of the body surface within cytoarchitectonic areas 3b and 1 in "SI" in the owl monkey (*Aotus trivirgatus*). *Journal of Comparative Neurology*, 181, 41-73.
- MESULAM, M. M. (1981). A cortical network for directed attention and unilateral neglect. *Annals of Neurology*, 10, 309-325.
- MILLER, G. A. & LENNEBERG, E. (Eds.) (1978). *Psychology and biology of language and thought: Essays in honor of Eric Lenneberg*. Nueva York: Academic Press.
- MILNER, P. M. & WHITE, N. M. (1987). What is Physiological Psychology. *Psychobiology*, 15, 2-6.
- MİYASHITA, Y. & FARAH, M. J. (2001). Cognitive neuroscience at the turn of the millenium. Editorial overview. *Current Opinion in Neurobiology*, 11, 147-149.
- MONTOYA, P., RITTER, K., HUSE, E., LARBIG, W., TÖPFNER, S., LUTZENBERGER, W., GRODD, W., FLOR, H. & BIRBAUMER, N. (1998). The cortical somatotopic map and phantom phenomena in subjects with congenital limb atrophy and traumatic amputees with phantom limb pain. *European Journal of Neuroscience*, 10, 1095-1102.
- MORAN, J. & DESIMONE, R. (1985). Selective attention gates visual processing in the extrastriate cortex. *Science*, 229, 782-784.
- MORRIS, R. G. M. (1996). The Cognitive Neurosciences, edited by M.S. Gazzaniga (book review). *Trends in Neurosciences*, 19, 521-522.
- MORRIS, R. G. M. & GOLDMAN-RAKIC, P. (2000). Cognitive neuroscience. Editorial overview. *Current Opinion in Neurobiology*, 10, 167-171.
- MOUNTCASTLE, V. B. (1957). Modality and topographic properties of single neurons of cat's somatic sensory cortex. *Journal of Neurophysiology*, 20, 408-434.
- MÜLLER, M. M. & MAYES, A. R. (2001). Cognitive neuroscience: perception, attention, and memory. Editorial. *Neuroscience & Behavioral Reviews*, 25, 462-464.
- NÄÄTÄNEN, R. (1995). Mismatch negativity – A powerful tool in cognitive neuroscience. *Ear and Hearing*, 16, 6-18.
- NÄÄTÄNEN, R. (2000). The perception of speech sounds by the human brain as reflected by the mismatch negativity (MMN) and its magnetic equivalent (MMNm). *Psychophysiology*, 38, 1-21.
- NÄÄTÄNEN, R., ILMONIEMI, R. & ALHO, K. (1994). Magnetoencephalography in studies of human cognitive function. *Trends in Neuroscience*, 17, 389-395.
- NÄÄTÄNEN, R., TERVANIEMI, M., SUSSMAN, E., PAAVILAINEN, P. & WINKLER, I. (2001). 'Primitive intelligence' in the auditory cortex. *Trends in Neurosciences*, 24, 283-288.
- NÄÄTÄNEN, R. & WINKLER, I. (1999). The concept of auditory stimulus representation in cognitive neuroscience. *Psychological Bulletin*, 125, 826-859.
- NEISSER, U. (1967). *Cognitive psychology*. Nueva York: Appleton-Century-Crofts.
- OLIVARES, E., IGLESIAS, J. & BOBES, M. A. (1999). Searching for the face-specific long-latency ERPs: a topographic study of effects associated with mismatching features. *Cognitive Brain Research*, 7, 343-356.
- OCHSNER, K. N. & LIEBERMAN, M. D. (2001). The emergence of social cognitive neuroscience. *American Psychologist*, 56, 717-734.
- PARASURANAM, R. (Ed.) (2000). *The attentive brain*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- PASCUAL-LEONE, A., WALSH, V. & ROTHWELL, J. (2000). Transcranial magnetic stimulation in cognitive neuroscience – virtual lesion, chronometry, and functional connectivity. *Current Opinion in Neurobiology*, 10, 232-237.
- PHELPS, M. E., KUHL, D. E. & MAZZIOTTA, J. C. (1981). Metabolic mapping of the brain's response to visual stimulation: Studies in humans. *Science*, 211, 1445-1448.
- PHELPS, E. A., O'CONNOR, K. J., CUNNINGHAM, W. A., FUNAYAMA, E. S., GATENBY, J. C., GORE, J. C. & BANAJI, M. (2000). Performance on indirect measures of race evaluation predicts amygdala activation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 729-738.
- POSNER, M. I. (1978). *Chronometric explorations of mind*. Hillsdale, NJ: Erlbaum Associates.
- POSNER, M. I. & DIGIROLAMO, G. J. (2000). Cognitive neuroscience: Origins and promise. *Psychological Bulletin*, 126, 873-889.
- POSNER, M. I., PEA, R. & VOLPE, B. (1982). Cognitive neuroscience: Developments toward a science of synthesis. En J. Mehler, E. C. T. Walker & M. Garret (Eds.), *Perspectives on mental representations: Experimental and theoretical studies of cognitive processes and capacities* (pp. 251-276). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- POSNER, M. I., PETERSEN, S. E., FOX, P. T. & RAICHEL, M. E. (1988). Localization of cognitive operations in the human brain. *Science*, 240, 1627-1631.
- POSNER, M. I., RAFAL, R. D., CHOATE, L. S. & VAUGHAN, J. (1985). Inhibition of return: Neural basis and function. *Cognitive Neuropsychology*, 2, 211-228.
- PUERTO, A. (1985). Introducción histórica a la Psicología Fisiológica. En A. Puerto (Ed.), *Psicofisiología* (pp. 9-25). Madrid: UNED.
- RODRÍGUEZ-FORNELLS, A., ROTTE, M., HEINZE, H. J., NOSSELT, T. & MÜNTE, T. F. (2002). Brain potential and functional MRI evidence for how to handle two languages with one brain. *Nature*, 415, 1026-1029.
- RODRÍGUEZ-HOLGUÍN, S., CORRAL, M. & CADAVERA, F. (1998). Mismatch negativity in young children of alcoholics from high-density families. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 22, 281-290.

- ROSE, J. E. & WOOLSEY, N. C. (1949). The relations of thalamic connections, cellular structure and evocable activity in the auditory region of the cat. *Journal of Comparative Neurology*, 91, 441-450.
- ROSENZWEIG, M. R., LEIMAN, A. & BREEDLOVE, S. M. (2001). *Psicología Biológica*. Barcelona: Ariel.
- SARTER, M., BERNSTON, G. G. & CACIOPPO, J. (1996). Brain imaging and cognitive neuroscience. Toward strong inference in attributing function to structure. *American Psychologist*, 51, 13-21.
- SCHNEIDER, W. X. & MAASEN, S. (Ed.) (1998). *Mechanisms of visual attention: A cognitive neuroscience perspective*. East Sussex, UK: Psychology Press.
- SEGOVIA, S. & GUILLAMÓN, A. (1991). Una aproximación conceptual a la Psicobiología. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 44, 389-394.
- SEJNOWSKI, T. J. (1999). The book of Hebb. *Neuron*, 24, 773-776.
- SHEPHERD, G. M. (1994). *Neurobiology*. Nueva York: Oxford University Press.
- SPITZER, M. (1997). A cognitive neuroscience view of schizophrenic thought disorder. *Schizophrenia Bulletin*, 22, 703-725.
- STENBERG, S. (1969). The discovery of processing stages: Extension of Donder's method. *Acta Psychologica*, 30, 276-315.
- SWANSON, J., CASTELLANOS, F. X., MURIAS, M., LAHOSTE, G. & KENNEDY, J. (1998). Cognitive neuroscience of attention deficit hyperactivity disorder. *Current Opinion in Neurobiology*, 8, 263-271.
- VALLE-INCLÁN, F., DE LABRA, C. & REDONDO, M. (2000). Psychophysiological studies of unattended processing. *Spanish Journal of Psychology*, 3, 76-85.
- VÁZQUEZ-MARRUFO, M., VAQUERO, E., CARDOSO, M. J. & GÓMEZ, C. (2001). Temporal evolution of alpha and beta bands during visual spatial attention. *Cognitive Brain Research*, 12, 315-320.
- VON NEUMANN, J. (1958). *The computer and the brain*. New Haven, CT: Yale University Press.
- WALDROP, M. M. (1993). Cognitive neuroscience: A world with a future. *Science*, 261, 1805-1807.
- WALSH, V. & COWEY, A. (2000). Transcranial magnetic stimulation and cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 1, 73-79.
- WIENER, N. (1948). *Cybernetics*. Nueva York: Wiley.
- WISE, S. P. & DESIMONE, R. (1988). Behavioral neurophysiology: Insights into seeing and grasping. *Science*, 242, 736-740.
- WOOLSEY, N. C., MARSHALL, W. H. & BARD, P. (1942). Representation of cutaneous tactile sensibility in the cerebral cortex of the monkey as indicated by evoked potentials. *Bulletin John Hopkins Hospital*, 70, 399-441.
- WURTZ, R. H., GOLDBERG, M. E. & ROBINSON, D. L. (1980). Behavioral modulation of visual responses in the monkey: Stimulus selection for attention and movement. *Progress in Psychobiology and Physiological Psychology*, 9, 43-83.
- YIN, J. C. & TULLY, T. (1996). CREB and the formation of long-term memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 6, 264-268.
- ZEKI, S. (1978). Functional specialization in the visual cortex of the rhesus monkey. *Nature*, 274, 423-428.
- ZEKI, S. & SHIPP, S. (1988). The functional logic of cortical connections. *Nature*, 335, 311-317.
- ZOLA-MORGAN, S. (1995). Localization of brain function: The legacy of Franz Joseph Gall (1758-1828). *Annual Review of Neuroscience*, 18, 359-383.
- ZURRÓN, M. & DÍAZ, F. (1997). Auditory event-related potentials in mentally retarded subjects during active and passive oddball experiments. *Biological Psychiatry*, 15, 201-208.

Apéndice

LA NEUROCIENCIA COGNITIVA EN ESPAÑA¹

Actividades docentes

Si consideramos como indicador de la actividad científica en una disciplina particular la afiliación a las sociedades científicas que la representan, resulta interesante observar que la Neurociencia Cognitiva, entendida como tal, no ha penetrado en Europa, con la excepción de Gran Bretaña, de la misma manera que en los Estados Unidos de América. En efecto, en 1998 únicamente 103 de los 916 miembros de la *Cognitive Neuroscience Society* listados en su directorio (un once por ciento) eran europeos, entre ellos 37 británicos y únicamente un español (el autor).

En España, la Neurociencia Cognitiva está ausente de los planes de estudio de la licenciatura en psicología, y por supuesto de otras licenciaturas, tales como medicina o biología. La única referencia a esta disciplina que hemos hallado corresponde a una asignatura optativa ofertada, desde el Departamento de Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia, en la licenciatura en psicología de la Universitat de Barcelona: “*Qüestions filosòfiques a les neurociències cognitives*” (“Cuestiones filosóficas en las neurociencias cognitivas”, Prof. Manuel García-Carpintero)². Sin embargo, esto no sorprende, pues es posible que, al tratarse de una disciplina reciente, no haya habido ni el tiempo suficiente, ni la tradición académica apropiada, para favorecer su consolidación.

Esta situación de práctica ausencia de la Neurociencia Cognitiva en los programas docentes de las facultades de psicología empieza a modificarse tímidamente mediante cursos monográficos en algunos programas de doctorado. Así por ejemplo, hemos hallado que la Universidad de Granada ofrece, en su programa de “Psicología Experimental y Neurociencia del Comportamiento”, y desde el área de conocimiento de Psicología Básica, un curso sobre “Neurociencia

Cognitiva” (Dr. Pío Tudela)³. El área de Psicobiología de la Universitat de les Illes Balears ofrece, asimismo, un programa de doctorado en Psicología que incluye una opción de especialización en Neurociencia Cognitiva (Drs. Pedro Montoya y Francisco Barceló), al cual contribuímos con el curso “*Recerca electrofisiològica en Neurociència Cognitiva*” (“Investigación electrofisiológica en Neurociencia Cognitiva”)⁴, de tres créditos, similar al que venimos impartiendo en la Universitat de Barcelona desde el curso 1993-94, primero con el título de “Neurofisiología Cognitiva” y a partir de 1997 con el de “Electrofisiología en Neurociencia Cognitiva”, actualmente en el programa de doctorado en “Neurociencias”⁵.

Investigación

La situación de la Neurociencia Cognitiva en el ámbito de la investigación ha experimentado en años recientes un fuerte impulso. Aunque hasta la fecha pocos son los autores españoles que han publicado en la revista insignia de la especialidad, *Journal of Cognitive Neuroscience*, (Carretié, Martín-Loeches, Hinojosa y Mercado, 2001; Domínguez, de Vega y Barber, 2004; Escera, Alho, Winkler y Näätänen, 1998; Fuentes, Carmona, Agis y Catena, 1994; Hackley y Valle-Inclán, 1999; Lozte *et al.*, 1999), existen varios grupos de investigación, aglutinados la mayoría en la Sociedad Española de Psicofisiología (SEPF)⁶ que, mediante la técnica de los potenciales evocados, se ha adentrado en el terreno de la Neurociencia Cognitiva. Nos referimos a las investigaciones sobre alteraciones neurocognitivas en hijos de alcohólicos de Fernando Cadaveira (Rodríguez-Holguín, Corral y Cadaveira, 1998) o sobre el retardo mental (Zurrón y Díaz, 1997) y el envejecimiento (Amenedo y Díaz, 1998) de Fernando Díaz, ambos en Santiago de Compostela; a los trabajos sobre atención visual de Carlos Gómez en Sevilla (Vázquez-Marrufo, Vaquero, Cardoso y Gómez, 2001); a los estudios sobre percepción de caras (Olivares, Iglesias y Bobes, 1999) o emoción (Carretié *et al.*, 2001), realizados en la Universidad Autónoma de Madrid por Jaime Iglesias y Luis Carretié, respectivamente; a los de Manuel Martín-Loeches, en la Universidad Complutense de Madrid, sobre procesamiento semántico (Martín-Loeches, Hinojosa, Fernández-Frías y Rubia, 2001); a los de Pedro Montoya sobre el dolor (Montoya *et al.*, 1998); a los trabajos de Francisco Barceló sobre mecanismos cerebrales de la atención (Barceló, 2001; Barceló, Suwazono y Knight, 2000); a los de Fernando Valle-Inclán sobre el efecto Simon (Valle-Inclán, de Labra y Redondo, 2000) y el efecto accesorio (Hackley y Valle-Inclán, 1998); a las investigaciones sobre el procesamiento cognitivo durante el sueño llevadas a cabo por Mercedes Atienza y José Luis Cantero en Sevilla (Atienza y Cantero, 2001; Atienza, Cantero y Escera, 2001; Cantero, Atienza, Salas y Domínguez-Marín, 2002), y a nuestro propio trabajo sobre los mecanismos cerebrales de la percepción auditiva (Amenedo y Escera, 2000; Escera, 2001) y la atención involuntaria (Escera *et al.*, 1998, 2000; Escera, Yago y Alho, 2001; Escera, Corral y Yago, 2002).

Notas

¹ La información recogida en este apartado se cerró con fecha octubre de 2000, y corresponde únicamente a aquellas actividades que encajan en el enfoque de la Neurociencia Cognitiva que se ofrece en este texto.

² <http://www.ub.es/psicolog/ConsellEstudis/pre9991.htm>

³ <http://goteron.ugr.es:80/servlet/programaDoctorado>

⁴ <http://www.uib.es/facultat/psicologia/docencia/doctoral.html>

⁵ <http://www.ub.es/acad/doctorat.htm>

⁶ <http://www.uam.es/otros/SEPF/>