

# Arquitecturas funcionales cerebrales: del clasicismo a la actualidad

## *Cerebral functional architectures: from classicism to current trends*

Jordi Peña-Casanova

El autor estudia la evolución que han sufrido a lo largo del tiempo las relaciones entre el cerebro y las actividades mentales y cómo influyen las anomalías del cerebro en el comportamiento mental. Se describen las primeras aportaciones aparecidas en este sentido y los últimos estudios relacionados con la neuropsicología cognitiva y los modelos que permiten la exploración de las alteraciones del lenguaje.

The author studies the changes experienced through time in the relationship between brain and mental activities and how brain anomalies affect mental behavior. The article describes early contributions, as well as the most recent studies involving cognitive neuropsychology and the models enabling us to explore language alterations.

Las relaciones entre el cerebro y las actividades mentales han interesado desde tiempos remotos. El problema tiene unas raíces profundas y previas a la aparición de los términos *neurología*, *neuropsicología*, *neurología del comportamiento* o *neurociencia cognitiva* (Lecours y Joannette, 1991).

### **El objetivo: las relaciones entre el cerebro y las capacidades mentales**

El objetivo planteado a lo largo de la historia ha sido siempre el mismo: «observar sistemáticamente las anomalías del comportamiento propio de la especie y localizar en términos de neuroanatomía macroscópica las lesiones que causan las enfermedades del cerebro humano, e intentar comprender su funcionamiento y disfunciones, como *sustrato* de las diversas aptitudes cognitivas» (Lecours y Joannette, 1991).

Los grandes maestros y fundadores de la neurología aportaron conocimientos capitales que constituirían, directa o indirectamente, los cimientos de la moderna aproximación a las relaciones entre el cerebro y las actividades mentales (Finger, 1994). Este proceso conduciría a la cristalización progresiva de las clasificaciones de las formas clínicas de afasia (alteración del lenguaje), alexia (alteración de la lectura), apraxia (alteración de la gestualidad), agnosia (alteración del reconocimiento), acalculia (alteración del cálculo) y otras, tal como se describen en los tratados contemporáneos de neurología y neurología de la conducta (Heilman y Valenstein, 1979; Feinberg y Farah, 1997; Mesulam 2000).

En el ámbito del estudio de las afasias (como alteraciones del lenguaje debidas a lesión cerebral) pronto aparecieron lo que en la actualidad conocemos con el nombre de *arquitecturas funcionales*. Estas arquitecturas se definen como un conjunto o una serie de conjuntos de esquemas de procesamiento («cajas y flechas») que *sirven para describir postulados de las ciencias cognitivas y neurocognitivas*. En la actualidad, una arquitectura funcional plantea cómo «es la función normal», y las lesiones de sus componentes deben ser compatibles con los hallazgos clínicos.

Aunque las arquitecturas funcionales se pueden aplicar al estudio de todas las capacidades mentales, este artículo se centrará en los problemas del lenguaje, la lectura y la escritura.

Veremos a continuación que los modelos o arquitecturas funcionales no son recientes, sino que proceden de los albores de la afasiología y que se pueden apreciar ya en los trabajos de autores como Wernicke (1874), Freud (1891) o Charcot (1892).

### **El clasicismo: *diagram makers***

#### *El primer cimiento: Broca y el paciente Tan (Monsieur Leborgne)*

El 18 de abril de 1861, Pierre Paul Broca presentó a la Sociedad de Antropología de París su célebre comunicación sobre el paciente Leborgne. Éste tenía todo su lenguaje expresivo reducido al monosílabo «tan», que articulaba repetidas veces (de ahí que se le identifique a veces en la literatura como *Monsieur Tan*). El estudio anatómico *post mortem* fue muy revelador al mostrar una lesión por oclusión de la arteria cerebral media izquierda, una lesión amplia localizada en el pie de la tercera circunvolución frontal (fig. 1). Broca puso los cimientos de lo que 13 años más tarde se concatenaría

en un modelo funcional. En otras palabras, estableció una clara relación entre la *clínica* y la *topografía cerebral* lesionada.

#### *El segundo cimientto: Wernicke*

Con la figura de Carl Wernicke (1848-1905) se inicia realmente la neuropsicología moderna. La contribución de Wernicke permitió un nuevo enfoque de los estudios neuropsicológicos y el desarrollo científico del estudio de las afasias. En 1874, con 26 años de edad, publica *Der aphasische Symptomen-complex*, donde acepta las ideas de Broca y muestra que la lesión de otra región del córtex, la primera circunvolución temporal, conduce a la pérdida de las llamadas *imágenes auditivas* de las palabras (alteración del denominado centro auditivo-verbal). Los síntomas de esta lesión eran una abundancia de palabras inadecuadas en la expresión del lenguaje y un defecto notorio en la comprensión verbal: quedaba así establecida la *afasia sensorial*.

A la descripción de la afasia sensorial le sigue pronto la elaboración de un modelo asociacionista. Partiendo de la tesis asociacionista esbozada por Bastian (Lecours y Lhermitte, 1979), Wernicke formula una teoría general de la afasia, cuyos postulados principales son los siguientes:

1. Existen centros cerebrales para cada uno de los componentes fundamentales del lenguaje.
2. Las lesiones de estos centros comportan las distintas formas clínicas de afasia.
3. Las lesiones de las conexiones entre los distintos centros van a provocar otros tipos de afasia.

De acuerdo con este modelo (fig. 2), Wernicke realizó una primera definición de los tipos de afasia:

1. Una afasia motora, que es una afasia expresiva, por destrucción del centro de los movimientos de los órganos de la palabra (centro verbo-motor).
2. Una afasia sensorial, que describe Wernicke, debida a la destrucción del centro auditivo-verbal, en la que es imposible la comprensión de las palabras.
3. Por deducción, y de ahí la importancia de su descripción, consideró la existencia de una «afasia de conducción» (*Leitungsaphasie*) en la que estarían alteradas las conexiones entre los centros receptores y efectores del lenguaje. El paciente podrá comprender el mensaje recibido pero no podrá repetirlo. Además, se perderá la capacidad de controlar la expresión verbal. Los estudios posteriores iban a dar la razón a Wernicke y la afasia de conducción constituye en la actualidad una de las formas clásicas de afasia.

A partir de las concepciones iniciales de Bastian, se inicia el período que Head calificó de *diagram makers* y Pierre Marie de *période géométrique de l'aphasie*. Destacan entre otros los diagramas de Küsmal, Lichtheim, Charcot (esquema de la campana) (fig. 3) y Grasset (el polígono) (véanse los datos históricos en Lecours y Lhermitte, 1979).

El clasicismo, en conclusión, aporta el reconocimiento de lesiones y de agrupaciones de síntomas relacionados con ellas, y aporta modelos rudimentarios de los que hoy llamamos de «cajas y flechas».

#### **La actualidad: «neuropsicología cognitiva»**

En los años ochenta aparece una obra que tendría una gran influencia en el ulterior desarrollo de la neuropsicología: la *Human cognitive neuropsychology* de Andrew W. Ellis y Andrew W. Young (1988). Esta obra establece con claridad los principios de la «neuropsicología cognitiva», destacando los conceptos de modularidad y exponiendo las arquitecturas funcionales (modelos) de las funciones estudiadas. Los síntomas clínicos (las capacidades afectadas y preservadas) se analizan en relación con un modelo sobre el procesamiento normal. Los componentes del modelo (representados por «cajas») constituyen los llamados módulos, de ahí que se hable de teoría modular.

La neuropsicología cognitiva<sup>1</sup> parte de unas suposiciones generales que se deben comentar para comprender las aportaciones actuales antes de entrar en detalles sobre arquitecturas funcionales (Coltheart, 2001).

En primer lugar, destaca la importante aportación de Fodor a través de su obra *The modularity of mind* (*La modularidad de la mente*), publicada en 1983. Fodor propuso una serie de propiedades que caracterizarían los módulos funcionales. Estas propiedades se actualizarían y resumirían en los

supuestos siguientes (Coltheart, 2001): modularidad funcional, modularidad anatómica, uniformidad interpersonal de una arquitectura funcional y sustractividad. El supuesto teórico de la *sustractividad* establece que en casos de lesiones cerebrales la arquitectura funcional resultante es el sistema normal menos los componentes lesionados. Se establece, en consecuencia, que se han afectado o eliminado cajas y/o flechas. Las manifestaciones de los pacientes son el resultado de una sustracción, no de una adición. Estas consideraciones no niegan, por otro lado, la posibilidad del uso de nuevas estrategias que permitan superar el déficit.

Entre las múltiples arquitecturas funcionales publicadas destacan los modelos de Ellis y Young (1988), el modelo de Kay, Lesser y Coltheart (1992) y el modelo de Lecours, Peña-Casanova y Diéguez (1997).

#### *Modelo de Ellis y Young*

El modelo de Ellis y Young (fig. 4) establece, entre otras, las siguientes características, muy resumidas. Los números de cada apartado se corresponden con los números de la figura que identifican cada componente de la arquitectura funcional:

1. La función del «sistema de análisis auditivo» permite manipular la información auditiva aferente y extraer los sonidos individuales del lenguaje. Esta tarea se realiza con independencia de la velocidad, del tipo de voz, del acento o de otras variables acústicas. Una lesión de este sistema afectaría selectivamente la capacidad de discriminación auditiva verbal y se alteraría en ciertos casos de «sordera verbal pura». El paciente tendría una dificultad para entender o repetir el lenguaje oral, aunque sería capaz de hablar, leer y escribir correctamente.
2. El «léxico auditivo de entrada» (léxico logofónico de entrada en terminología de Lecours *et al.*, 1997) sería el depositario, en sus formas de origen auditivo, de las palabras que cada individuo es capaz de reconocer cuando las oye. Así pues, la función de este componente es reconocer las palabras habladas familiares. El reconocimiento de una palabra no implicaría el acceso a su significado. Para alcanzar el significado se requiere un paso más, la activación de la representación semántica específica en el seno del sistema semántico. La afectación del sistema de análisis auditivo daría lugar a un sujeto incapaz de reconocer muchas de las palabras oídas. Sin embargo sería capaz de repetir las palabras a través de la vía directa (flecha 11). La producción verbal sería normal gracias a las salidas directas desde el sistema semántico hacia el léxico de *output* del habla (flecha 8) y el nivel fonémico. La lectura también quedaría intacta. Este patrón sería el típico de algunos casos catalogados como «sordera para el significado de las palabras».
3. La conexión entre el léxico auditivo de entrada (léxico logofónico de entrada) y el sistema semántico (flecha 3) permite que las palabras oídas y reconocidas como familiares alcancen sus significados. La alteración de este acceso daría lugar a un cuadro clínico caracterizado por una capacidad normal para diferenciar palabras de pseudopalabras (por ejemplo sinapo, sotupo, basomida). Esto es, el sujeto sería capaz de realizar tareas de decisión léxica. A pesar de expresar sensación de familiaridad entre las palabras y rechazar los logotomos, el sujeto es incapaz de alcanzar el significado. La afectación de este acceso en ciertos pacientes, que serían capaces de escribir al dictado palabras irregulares que son incapaces de comprender, recibe el nombre de «sordera para el significado de las palabras». Ciertos casos en los que aparecen fallos en el acceso al significado de ciertas categorías de palabras reciben el nombre de «disfasia de acceso semántico».
4. El sistema semántico (conocimiento semántico en terminología de Lecours *et al.*) es el componente en el que se representan los significados de las palabras. Se corresponde con la «memoria semántica» de muchos modelos sobre la memoria. La alteración del sistema semántico se puede observar en varias situaciones: en demencias, en casos particulares en los que se afectan determinadas categorías semánticas, en casos de afasia profunda y de dislexia profunda y de demencia semántica. La afasia profunda se caracteriza por parafasias semánticas en la repetición con imposibilidad de repetir pseudopalabras. Por su parte, la alexia profunda se caracteriza por la producción de parafasias semánticas en la repetición y una incapacidad en la lectura de pseudopalabras, con un efecto de imaginabilidad (mayor dificultad en la lectura de palabras abstractas).

5. El sistema de análisis visual tiene como función particular el reconocimiento de letras en palabras o en series que constituyen pseudopalabras, la codificación de cada letra en relación con su posición en el seno de la palabra, y en agrupar perceptivamente las letras que pertenecen a una palabra. La alteración de este nivel del procesamiento daría lugar a las llamadas «alexias periféricas».
6. El léxico visual de entrada (léxico logográfico de entrada en el modelo de Lecours *et al.*) constituye el almacén depositario de representaciones visuales de las palabras (formas escritas). En este sentido, el léxico logográfico de entrada es similar al léxico logofónico de entrada (léxico de *input* auditivo). Mediante la acción de este componente se pueden identificar series de letras como familiares (palabras) o como desconocidas (pseudopalabras). Al igual que en el caso del léxico de *input* auditivo, se pueden realizar tareas de decisión léxica para comprobar su capacidad funcional. La comprensión precisa un paso posterior: acceder al sistema semántico. La alteración del léxico visual de entrada (léxico logográfico de entrada) da lugar a fallos en el reconocimiento de palabras por proximidad morfológica (aspecto de dislexia visual). La alteración de este sistema no daría problemas en la lectura de palabras como *silla* o *farol* pero sí los podría causar en casos de palabras como *jeep* o *Hollywood*. En muchos de estos casos, el paciente produciría frecuentes errores de regularización. Ciertos casos, conocidos con el nombre de dislexia de superficie, se atribuyen a la lesión del léxico de *input* visual (léxico logográfico de entrada).
7. La conexión entre el léxico visual de entrada y el sistema semántico permite realizar el acceso entre las formas visuales de las palabras y sus significados almacenados en el sistema semántico. La alteración selectiva de este acceso da lugar a una incapacidad en la comprensión de palabras escritas irregulares a pesar de que el paciente es capaz de realizar tareas de decisión léxica. La dislexia de acceso semántico se correspondería con este patrón.
8. El léxico de salida del habla (léxico logofónico de salida) constituye el almacén de las memorias de origen fonocinestésico de las palabras. Funcionalmente, permite que la forma de las palabras habladas esté disponible. En la producción verbal la activación de estas representaciones tiene lugar como respuesta a la acción del sistema semántico. Estas representaciones también se activan a partir de *inputs* procedentes del léxico de *input* visual (léxico logográfico de entrada). La afectación del léxico de salida del habla se produciría en pacientes anómicos con dificultad para evocar palabras cuyo significado estaría totalmente preservado. Estos pacientes serían capaces de evocar palabras de alta frecuencia y presentarían fenómenos de aproximación.
9. En el nivel fonémico estarían representados los sonidos distintivos del lenguaje. Estas memorias estarían codificadas con datos sobre la posición, al igual que las letras en el sistema de análisis visual. Las aferencias del sistema fonémico procederían del sistema de análisis auditivo, del léxico de salida del habla (léxico logofónico de salida) y del sistema de conversión grafema-fonema (vía periléxica de lectura). Este nivel también permite el deletreo de palabras no representadas en el léxico grafémico de salida. La afectación del nivel fonémico se puede observar en casos de afasia de Broca y posiblemente en ciertos casos de afasia de conducción. Un elemento típico de estos trastornos sería el cambio de fonemas en función de principios de similitud.
10. La conexión bidireccional entre el léxico de salida del habla y el nivel fonémico pone de manifiesto la interacción funcional entre estos componentes.
11. La flecha que une el sistema de análisis auditivo con el nivel fonémico pone de manifiesto la conexión que permite la repetición sin tener que acceder a los léxicos de entrada y salida. Esta conexión constituye una vía directa. Esta conexión permitiría la repetición de pseudopalabras. La alteración de la vía directa se observaría en ciertos afásicos con síntomas como la «agnosia fonológica» y la «afasia profunda», en los cuales la repetición de pseudopalabras está más afectada que la repetición de palabras.
12. Representación de la posibilidad de *feed-back* externo que permite controlar la propia producción verbal. En ciertas afasias la ausencia de control externo explicaría la incapacidad de detección del trastorno por parte del paciente.
13. En muchos modelos se representa una conexión directa entre el léxico auditivo de entrada (léxico logofónico de entrada) y el léxico de salida del habla (léxico logofónico de salida), esto es, saltando el componente semántico. Este componente funcional permite expresar la situación

patológica de la posibilidad de transcodificación de las palabras oídas a palabras escritas sin que exista acceso a la semántica.

14. Conexión entre el léxico visual de entrada (léxico logográfico de entrada) y el léxico de salida del habla sin pasar por el componente semántico. La posibilidad de pacientes capaces de leer correctamente palabras irregulares sin extraer su significado se debería a la existencia de esta ruta.
15. Representación de un sistema de conversión grafema-fonema que permite la lectura de palabras familiares regulares y de pseudopalabras. La situación clínica llamada «alexia fonológica» se debería a la afectación de este sistema. En estos casos los pacientes leen mejor las palabras (regulares o irregulares) que las pseudopalabras. Este componente funcional también está gravemente afectado en casos de «alexia profunda».
16. Léxico grafémico de salida (léxico logográfico de salida en terminología de Lecours et al.). Este componente funcional representaría el almacén depositario en sus formas de origen *visuoqueirocinestésico* de las palabras. Estarían representados los deletreos de las palabras familiares y se harían accesibles en el momento de la escritura. Su papel es muy importante en lenguas con escritura irregular en las que existen numerosos deletreos atípicos e impredecibles. La alteración de este sistema explicaría ciertas parafasias consistentes en errores en el deletreo. Los errores de entrada desde el sistema semántico darían lugar a parafasias semánticas como en el caso de la agrafia profunda.
17. Conexión entre el léxico de salida del habla y el léxico grafémico de salida. Esta conexión explicaría errores de escritura por similitud acústica.
18. Representación de un sistema de conversión fonema-grafema. La vía de conversión grafema-fonema permite la lectura de palabras regulares y la de pseudopalabras plausibles. Un elemento central de la función de la conversión grafema-fonema es la aplicación de reglas con la consiguiente regularización de las palabras irregulares. La regularización es una característica de los pacientes con agrafia de superficie en los que está alterado el léxico visual de entrada. En la disgrafía fonológica se altera específicamente la conversión grafema-fonema.

#### *Modelo PALPA*

El modelo PALPA (*Psycholinguistic Assessment of Language Processing in Aphasia*) de Kay, Lesser y Coltheart (1992), bastante similar al de Ellis y Young, aporta un conjunto de materiales que permiten la exploración de los componentes de la arquitectura funcional propuesta. Existe una versión española, el modelo EPLA (Valle y Cuetos, 1995). Es importante destacar que el PALPA aporta por vez primera una alternativa a la exploración sistemática de las alteraciones del lenguaje de los pacientes, mas allá de los tests clásicos.

#### *Modelo HFSP*

La arquitectura funcional para la lectura y la escritura de Lecours *et al.* (1997) nace en el contexto de un consorcio internacional becado por el HFSP. Este consorcio definió una arquitectura funcional muy simple, genérica y apta para cualquier sistema de escritura. A continuación, se estudiaron las características de los distintos sistemas de escritura y se establecieron arquitecturas funcionales específicas. Como caso concreto se estableció un modelo para los códigos alfabéticos y luego se especificaron las características de códigos específicos: inglés, francés, español y portugués.

A diferencia del modelo de Ellis y Young, el modelo de Lecours *et al.* (fig. 5) especifica detalles como el procesamiento de los registros alfabético, grafémico y silábico, así como vías paralelas entre el léxico de entrada y el léxico de salida.

#### **Comentarios finales**

Aunque las arquitecturas funcionales proceden de las aproximaciones de los clásicos, las ciencias neurocognitivas actuales las incorporan en el contexto de los conocimientos y métodos más recientes. Las arquitecturas funcionales se usan en el estudio del procesamiento de caras, en el cálculo y en el reconocimiento de objetos, entre otros casos. Se asume que las arquitecturas funcionales son uniformes entre los distintos individuos. Las arquitecturas funcionales permiten explicitar teorías que se deben contrastar realizando estudios en pacientes con lesiones cerebrales.

Se asume también que los módulos propuestos tienen una pertinencia biológica (permitiendo disociaciones tras lesiones cerebrales). Ciertamente, las arquitecturas funcionales no hacen referencia directa a la biología humana, ya que se hubieran podido concebir y construir sin el menor conocimiento biológico; sin embargo, esta afirmación no es incompatible con otra aseveración que reconozca una pertinencia biológica potencial. Pertinencia biológica no se debe confundir con la noción clásica de localización, al menos tal y como se emplea en neurología.

Las arquitecturas funcionales no son «ecológicas». No lo son desde el momento en que se reduce a un léxico mental y a una serie de mecanismos, es decir, desde el momento en que no se describe explícitamente algunos parámetros que se consideran esenciales en el estudio de las dislexias y disgrafías o de las afasias (frecuencia de uso y longitud de las palabras, carácter concreto o abstracto, dimensiones fonológica, morfológica y sintáctica, entre otros). Además, las figuras hacen abstracción de la ontogénesis del léxico mental e ignoran diversos factores, como el nivel de escolarización o los hábitos lectores de los sujetos.

Aunque las cajas y las flechas representan un conjunto funcional interactivo, cada caja y cada flecha corresponde a una o más «memorias especializadas», que pueden poseer ciertas características funcionales más o menos específicas.

Asimismo se asume que las lesiones cerebrales afectan o suprimen módulos –y sus conexiones–, pero no añaden otros nuevos. De hecho, las arquitecturas funcionales permiten establecer estudios neurocognitivos explícitos que se deben completar con informaciones procedentes de otros ámbitos como la neuroimagen funcional o estudios experimentales en sujetos normales.

Finalmente, las arquitecturas funcionales forman una parte de lo que se llama «evidencias convergentes». La convergencia de evidencias aportadas por distintos ámbitos científicos consolida el conocimiento final.

## Notas

[1] Véase la actualización que aporta el libro de Brenda Rapp (2001).

## Bibliografía general

Libros de interés consultados:

BROCA, P.: «Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé, suivies d'une observation d'aphémie», *Bulletin de la Société d'Anthropologie* (París) 1861; 2: 235.

COLTHEART, M.: «Assumptions and methods in cognitive neuropsychology». En: RAPP, B.: *The handbook of cognitive neuropsychology*, Filadelfia, Psychology Press, 2001: 3-21.

ELLIS, AW; YOUNG, AW.: *Human Cognitive Neuropsychology*, Hove, Lawrence Erlbaum, 1988.

FEINBERG, T.E.; FARAH, M.J.: *Behavioral Neurology and Neuropsychology*, Nueva York, McGraw-Hill, 1997.

FINGER, S.: *Origins of Neuroscience. A History of Explorations into Brain Function*, Nueva York, Oxford University Press, 1994.

FODOR, J.A.: *The modularity of mind*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press.

HEILMAN, K.M.; VALENSTEIN E. (eds.): *Clinical Neuropsychology* (3ª ed.), Nueva York, Oxford University Press, 1994.

KAY, J; LESSER, R; COLTHEART, M.: PALPA: *Psycholinguistic Assessment of Language Processing in Aphasia*, Hove, Lawrence Erlbaum Associates, 1992.

LECOURS A.R.; JOANETTE, Y.: «Prefacio». En: PEÑA-CASANOVA, J.: *Normalidad, semiología y patología neuropsicológicas*, Barcelona, Masson SA, 1991 : vii-x.

LECOURS, A.R.; PEÑA-CASANOVA, J.; DIÉGUEZ-VIDE, F.: *Dislexias y disgrafías*, Barcelona, Masson SA, 1997.

MESULAM, M.M.: *Principles of Behavioral and Cognitive Neurology*, Nueva York, Oxford University Press, 2000.

RAPP, B.: *The handbook of cognitive neuropsychology. What deficits reveal about human mind*, Filadelfia, Psychology Press, 2001.

WERNICKE, C.: *Der Aphasische Symptomenkomplex: eine psychologische Studie auf anatomischer basis*, Breslau, Cohn & Beigert, 1974.

## Jordi Peña-Casanova

Jordi Peña-Casanova es licenciado en Medicina y Cirugía por la Universidad Autónoma de Barcelona y doctor en Medicina por la Universidad de Navarra. Es jefe de la Sección de Neurología de la Conducta y Neuropsicología del

Instituto Municipal de Asistencia Sanitaria (IMAS), de Barcelona. También es director del Master de Neuropsicología del Departamento de Psiquiatría y Medicina Legal de la Universidad Autónoma de Barcelona e investigador asociado del Instituto de Geriátrica de la Universidad de Montreal.

[jpcasanova@imas.imim.es](mailto:jpcasanova@imas.imim.es) y [jpenac@meditex.es](mailto:jpenac@meditex.es)

<http://blues.uab.es/nnc>