

Aproximación histórica a la Neurociencia Cognitiva

Paloma Enríquez de Valenzuela

1. INTRODUCCIÓN

2. APORTACIONES DE LA NEUROCIENCIA

3. APORTACIONES DE LA PSICOLOGÍA

4. APORTACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

5. APROXIMACIONES DE LA NEUROCIENCIA COGNITIVA AL ESTUDIO DE LOS PROCESOS MENTALES

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

LECTURAS RECOMENDADAS

1. INTRODUCCIÓN

El concepto de neurociencia cognitiva como campo de investigación con entidad propia, entendido así como una nueva subdisciplina científica, surgió en los años 80 de la confluencia de tres tradiciones científicas claramente diferenciadas: La neurociencia, la psicología cognitiva y las ciencias de la computación (Fig. 1.1), y dentro de éstas particularmente la inteligencia artificial (Kosslyn y Andersen, 1992). La denominación del campo, como tal, la acuñaron en la segunda mitad de los 70 Michael Gazzaniga y George A. Miller, neurocientífico y psicólogo cognitivo, respectivamente, ambos de reconocido prestigio internacional en cada una de sus áreas de investigación. Su propuesta de creación de este nuevo campo científico no se comenzó a desarrollar propiamente, sin embargo, hasta finales de los años 80, con la creación del primer Instituto de Neurociencia Cognitiva en la universidad de Harvard, dirigido por Stephen Kosslyn (Posner y DiGirolamo, 2000); Kosslyn fue de los primeros psicólogos cognitivos interesados en contrastar desde la neurociencia los modelos desarrollados por la psicología experimental, hasta entonces ajenos al conocimiento proporcionado por las ciencias del cerebro.

La convergencia de estas tres tradiciones científicas, hasta entonces aisladas e incluso en ocasiones confrontadas (en este sentido, es histórico el rechazo inicial de la psicología cognitiva hacia toda investigación sobre el cerebro, y su radical negativa a aceptar

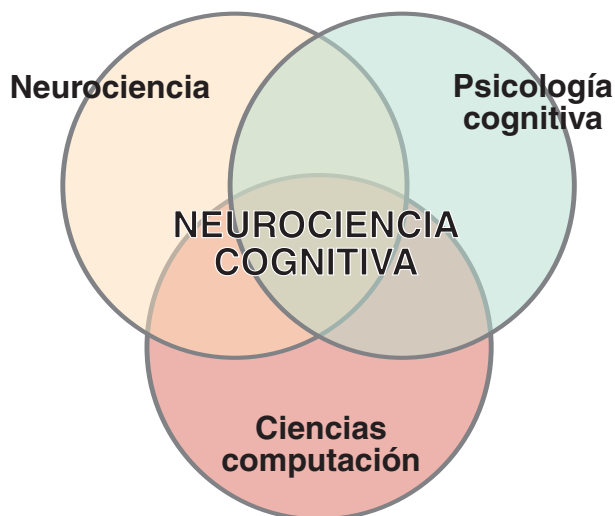


Figura 1.1 Imagen de la Neurociencia Cognitiva, como campo de intersección entre la Neurociencia, la Psicología cognitiva y las Ciencias de la computación (y dentro de éstas, especialmente la Inteligencia artificial).

el hecho incuestionable hoy de que el conocimiento del funcionamiento cerebral es muy relevante para dar respuesta a las preguntas que los modelos sobre las funciones cognitivas plantean) ha resultado tan fructífera que la nueva disciplina de la neurociencia cognitiva ha germinado pronto, despertando el entusiasmo de las nuevas generaciones de neurocientíficos, psicólogos cognitivos y expertos en inteligencia artificial, quienes están aunando sus conocimientos en un esfuerzo compartido para desentrañar uno de los mayores problemas que se le plantean a la ciencia actual: Conocer el modo en que se implementan en el cerebro, aceptado ya como órgano indiscutible de la mente humana, las funciones cognitivas y emocionales. En este sentido hay que aclarar que aunque la denominación del campo hace referencia únicamente a la cognición, el avance que se está produciendo en el conocimiento actual sobre los procesos emocionales y los mecanismos cerebrales implicados, así como el reconocimiento creciente de que no se alcanzará una explicación comprehensiva de la cognición humana hasta que se incluyan los aspectos emocionales que subyacen siempre de forma abierta o encubierta a toda cognición (puesto que ésta jamás se da en un vacío aséptico al margen de las motivaciones del sujeto y los estados emocionales del momento), han llevado a desarrollar una neurociencia cognitiva de la emoción (o neurociencia afectiva), complementaria de la original. E incluso, más recientemente, de una neurociencia social.

El esfuerzo de síntesis que ha supuesto la creación de esta nueva disciplina científica no carece, sin embargo, de ciertas tensiones derivadas de la disparidad de los marcos teóricos de partida de las distintas tradiciones científicas implicadas. En este sentido, la neurociencia cognitiva, como campo interdisciplinar por antonomasia, se abastece de una interacción dinámica entre neurociencia, psicología experimental e inteligencia artificial, lo que implica un diálogo continuo entre tres tipos distintos de análisis y conceptos científicos. Trataremos, por ello, a continuación, de detallar las aportaciones fundamentales de cada una de ellas a la fundamentación de esta nueva disciplina, analizando la *visión particular* de la neurociencia cognitiva que promueven.

2. APORTACIONES DE LA NEUROCIENCIA

Las concepciones sobre el modo en que se organizan en el cerebro las funciones mentales han estado polarizadas desde los orígenes de las ciencias experimentales en el siglo XIX por dos visiones opuestas de la función cerebral: La visión localizacionista, promo-

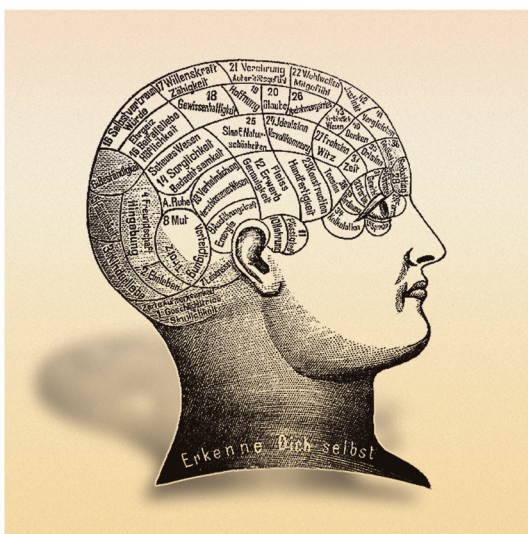
vida inicialmente en los albores de aquél siglo por los frenólogos Gall y Spurzheim desde planteamientos puramente especulativos, no científicos, que consideraba que las entonces denominadas facultades mentales se localizaban en regiones cerebrales específicas e independientes; y la visión holista o globalista, opuesta al localizacionismo, defendida inicialmente por Flourens a partir de sus estudios experimentales de lesiones cerebrales en animales, en los que las lesiones circunscritas de ciertas regiones no parecían producir déficits conductuales específicos, resultados que le llevaron a postular que el cerebro participa como un todo en la conducta y no a través de regiones diferenciadas funcionalmente (Gazzaniga y cols., 2009). En la segunda mitad del siglo XIX, sin embargo, las observaciones realizadas por los neurólogos en pacientes con daño cerebral y los estudios experimentales en animales, pusieron de manifiesto que las lesiones focales se acompañan de alteraciones funcionales específicas, haciendo gravitar la polémica localizacionismo versus antilocalizacionismo hacia la postura localizacionista. Muchos descubrimientos daban apoyo a la idea de que el cerebro, y en particular la corteza cerebral, están organizados topográficamente en regiones diferenciadas con funciones distintas. Entre ellos, destacan los estudios clínicos de Broca y Wernicke que llevaron al descubrimiento de las áreas del lenguaje que llevan sus nombres, respectivamente; los experimentales de Fritsch y Hitzig que mediante estimulación eléctrica llevaron al de la corteza motora en perros; y los de

Jackson basados en los movimientos característicos que se producen en los ataques epilépticos.

Todos estos estudios sugerían una organización funcional topográfica de la corteza cerebral, a modo de un mapa geográfico imaginario en el que cada región representara una función psicológica concreta (Fig. 1.2). Paralelamente, se comenzaron a realizar estudios neuroanatómicos a nivel microscópico del tejido cerebral para identificar diferentes regiones corticales en función de la arquitectura celular, a partir de los cuales se realizaron mapas citoarquitectónicos. El más representativo es el que realizó Brodmann, definiendo 52 áreas corticales (Fig. 1.3) conocidas como áreas de Brodmann y se sigue utilizando actualmente para indicar la localización de regiones concretas. Aunque el mapa de Brodmann se basaba en criterios estructurales (citoarquitectónicos) y no funcionales, permite también establecer diferencias funcionales entre distintas regiones corticales, como se puede observar en la figura 1.3.

A pesar de que las investigaciones promovían una perspectiva localizacionista del funcionamiento cerebral, el modo de concebir el localizacionismo presentaba diferencias de matiz fundamentales, a las que se les ha prestado poca atención. En este sentido, algunos investigadores, como Jackson y Wernicke, se adelantaron a su tiempo yendo más allá de lo que podría ser una concepción puramente frenológica (basada en áreas cerebrales independientes desde el punto de vista funcional). Estos autores no concebían el localizacionismo en términos estrictamente regionalistas, sino

Áreas cerebrales según principios frenológicos del siglo XIX



Áreas funcionales cerebrales según conceptos neurológicos actuales

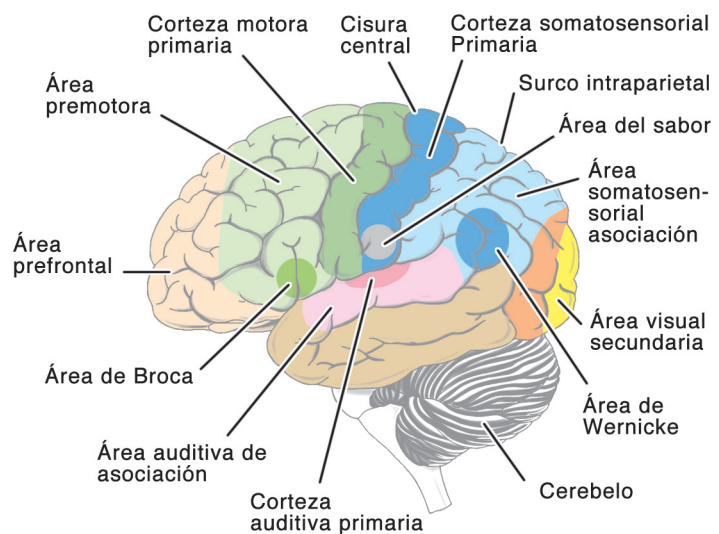


Figura 1.2

Comparación de la concepción frenológica con la identificación científica de regiones cerebrales con distintas competencias funcionales, que se comenzó a desarrollar en el siglo XIX, presentó un avance espectacular en el XX y se sigue desarrollando con matices importantes todavía.

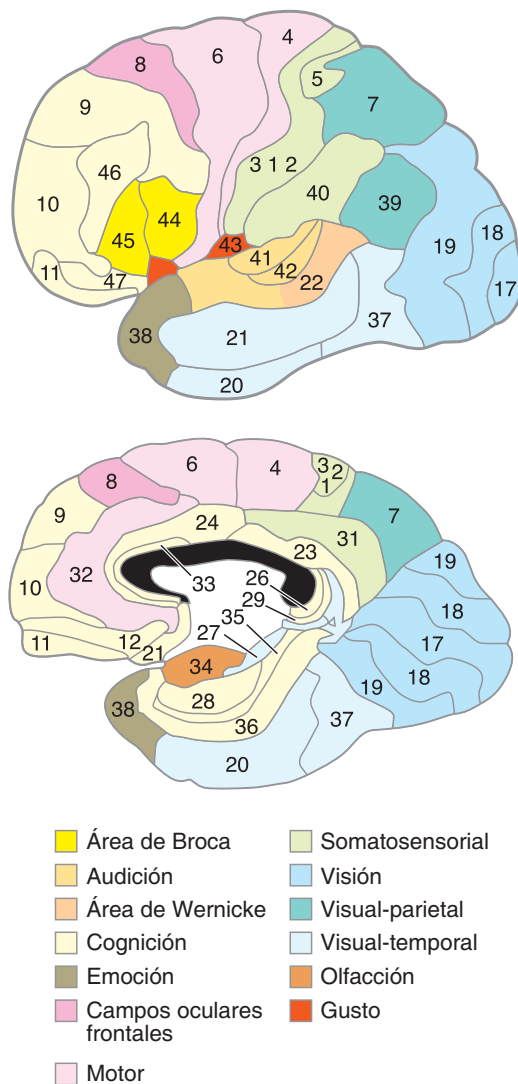


Figura 1.3 Representación lateral (arriba) y medial (abajo) de las áreas de Brodmann, indicando las principales correspondencias funcionales.

que mantenían una visión sobre la organización funcional del cerebro basada en las interconexiones de distintas estructuras (en lo que hoy se denominan redes o circuitos neurales), muy cercana al conexionismo actual. Así, Wernicke defendió un modelo sobre la organización cerebral del lenguaje en el que se concebía que éste dependía de varias regiones interconectadas más que de la actividad independiente en cada una de ellas, que completó Geschwind a mediados del siglo XX (Fig. 1.4). Paralelamente, Jackson concluyó, a partir de la observación clínica de que normalmente los pacientes con daño cerebral no pierden ninguna función por completo sino que tienen alteradas parcialmente varias funciones, que en cada función participan muchas regiones cerebrales. Profundizando en

esta idea, previno además sobre un importante error de interpretación en los estudios de pacientes con daño cerebral, que incluso hoy con frecuencia pasa desapercibido: la necesidad de distinguir entre localización de síntomas y localización de funciones (Gazzaniga y cols., 2009). En efecto, del hecho de que una determinada lesión altere una función concreta no se sigue que la región implicada sea la sede de dicha función, ya que la lesión puede haber afectado a otras regiones, y de lo que no cabe duda es de que habrá alterado las conexiones de distintas estructuras, por lo que el déficit funcional puede deberse a estos factores secundarios que conlleva toda lesión cerebral más que a su localización estricta. En esta misma línea, von Monakow desarrolló el concepto de diasquisis para referirse al hecho de que la lesión en una región del cerebro puede afectar a otras regiones, previniendo de nuevo contra las interpretaciones localizacionistas simples en el estudio de pacientes con daño cerebral. Todos estos autores tenían una visión dinámica del cerebro como un todo, según la cual la especialización regional se complementa con interconexiones entre distintas regiones, lo que posibilita un funcionamiento global integrado del sistema, dándole así capacidad para realizar reajustes funcionales en caso de lesión; en vez de concebirlo como un sistema estático formado por un conjunto de regiones con competencias funcionales aisladas e independientes.

La concepción holista del funcionamiento cerebral se mantuvo activa, no obstante, durante la primera parte del siglo XX. Su principal representante fue entonces Karl Lashley, quien continuó la tradición de las investigaciones iniciadas por Flourens. Investigando en ratas el efecto que distintas lesiones cerebrales producían en el aprendizaje, llegó a la conclusión de que ninguna región era imprescindible para que el animal aprendiera y que los efectos de distintas lesiones dependían más de su magnitud que de las regiones concretas dañadas. Estos resultados le llevaron a elaborar dos principios complementarios, el de *acción de masa* y el de *equipotencialidad*, que ahondaban en la idea de que el cerebro funciona como un todo integrado y no en partes disgregadas, y que cualquier región concreta podía participar por igual en el aprendizaje y la memoria.

El impresionante avance tecnológico desarrollado a lo largo del siglo XX permitió la incorporación de nuevas estrategias de investigación del cerebro, produciendo grandes avances en el conocimiento de su organización anatomofisiológica. Paralelamente, estos avances impulsaron la búsqueda de las relaciones cerebro-conducta, primero, cuando el paradigma conductista era dominante en psicología; y cerebro-cognición, a partir de la segunda mitad del siglo, cuando

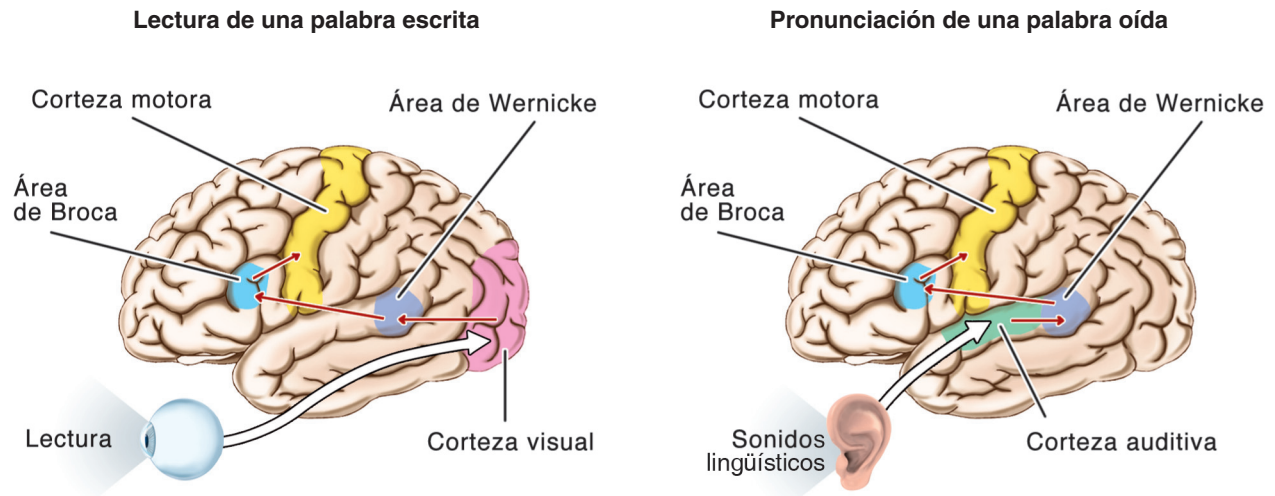


Figura 1.4 Esquema del modelo de Wernicke-Geschwind del lenguaje, en el que la función depende de las conexiones entre distintas estructuras y no de la actividad independiente en cada una de ellas.

aquél fue sustituido por el paradigma cognitivo, aún vigente aunque con cambios fundamentales que lo distancian del modelo teórico inicial, como veremos más adelante.

En lo que se refiere propiamente a la investigación cerebral, el desarrollo de las modernas técnicas de registro neurofisiológico fue permitiendo con el avance del siglo el descubrimiento paulatino de los mapas sensoriales y motores de la corteza cerebral, la organización funcional de las distintas cortezas sensoriales, así como de su estructura organizativa a nivel celular a partir de los pioneros trabajos de Mountcastle en la corteza somestésica, y de Hubel y Wiesel en la visual; estos estudios pusieron de manifiesto la organización de la corteza sensorial en columnas de especialización funcional, sentando a mediados del siglo XX las bases para desarrollar la actual concepción modular de la organización funcional de la corteza cerebral. Estos avances se han beneficiado tanto del uso de técnicas de registro de la actividad de grandes poblaciones de neuronas como del registro de la actividad de pequeñas agrupaciones neuronales e incluso de neuronas individuales. Paralelamente al surgimiento de estos avances técnicos, los neurocientíficos se han ido interesando cada vez más por incorporar las tareas experimentales de los psicólogos a sus estudios, con objeto de conocer los mecanismos neurofisiológicos implicados en distintas funciones psicológicas. Un ejemplo representativo de esta convergencia entre neurociencia y psicología son las aportaciones del neurocientífico español Joaquín Fuster, investigador de la UCLA (Universidad de California-Los Ángeles) sobre la actividad de neuronas individuales de la

corteza prefrontal en la memoria a corto plazo. Entre los avances técnicos desarrollados en el siglo XX, las técnicas de neuroimagen funcional han tenido una relevancia determinante en el surgimiento de la neurociencia cognitiva, ya que han permitido registrar en vivo los patrones de actividad cerebral que se producen durante la realización de tareas experimentales concretas, algo impensable hasta entonces (Fig. 1.5). A partir de su descubrimiento en los años 80, numerosos psicólogos experimentales las incorporaron en sus estudios sobre funciones psicológicas concretas; en este sentido, como veremos a continuación, Kosslyn y

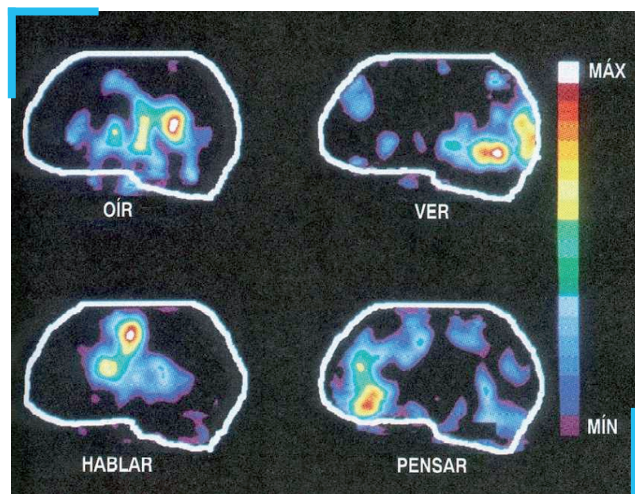


Figura 1.5 Ejemplo simplificado de la actividad neural registrada mediante las técnicas de neuroimagen funcional en distintas funciones psicológicas.

Posner fueron pioneros en incorporarse desde la psicología al campo de estudio de la neurociencia cognitiva.

Las aportaciones de las ciencias del cerebro, principalmente la neuroanatomía y la neurofisiología, a la moderna neurociencia cognitiva, se pueden resumir en una superación de la vieja polémica localizacionismo/holismo que supone de hecho una integración de las dos posturas, que se matizan y se complementan recíprocamente (Kosslyn y Andersen, 1992): Ninguna función psicológica compleja se realiza en una región cerebral única, lo que da en parte la razón a la visión holista o globalista; sin embargo, cada función compleja se compone de muchos procesos simples, y éstos sí parecen estar localizados en regiones cerebrales altamente especializadas, lo que complementariamente da apoyo parcial a la visión localizacionista.

3. APORTACIONES DE LA PSICOLOGÍA

El estudio de los procesos mentales, que centró el interés científico de los fundadores de la psicología como ciencia experimental en el siglo XIX (Wundt, Weber y Fechner), fue pronto rechazado radicalmente como objeto de estudio científico con el triunfo del conductismo instaurado por Watson, con sus aportaciones sobre el condicionamiento clásico (Fig. 1.6), como principal corriente de la psicología académica a principios del siglo XX. Como es bien sabido, el paradigma conductista consideraba la conducta manifiesta (observable públicamente) como único objeto posible de estudio científico en psicología, llegando incluso a asumir en su versión más radical que cualquier comportamiento, por complejo que fuera (como por ejemplo el lenguaje) podía explicarse en términos de asociaciones estímulo-respuesta, tal como llegó a proponer Skinner.

Durante la hegemonía del paradigma conductista, que se prolongó durante la primera mitad del siglo XX, hubo, sin embargo, muchas tensiones internas dentro de la psicología ya que numerosos investigadores cuestionaban el reduccionismo conductista desde su propia fundamentación teórica, negándose a rechazar los procesos mentales como objeto de estudio de la psicología, así como a renunciar a su estudio experimental. La escuela de la Gestalt que se originó en centroeuropa fue la corriente más representativa de esta tendencia e hizo importantes aportaciones en campos como la percepción y el pensamiento, pero su disgregación tras la segunda guerra mundial impidió que se consolidara como paradigma alternativo al conductismo en psicología.

Los avances técnicos y nuevos conceptos teóricos que proporcionaba la teoría de la información estimu-

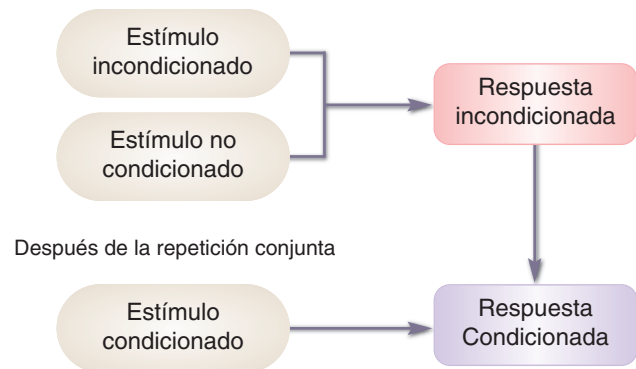


Figura 1.6 Representación básica del condicionamiento clásico.

laron en los años 50 un cambio radical de paradigma en psicología, en lo que se conoce como la revolución cognitiva. No es casualidad que George Miller, uno de los impulsores y líderes del nuevo paradigma, atribuya su «despertar cognitivo» al Segundo Simposio sobre Teoría de la Información que se celebró en 1956, escribiendo pocos años después un libro con el significativo título de *Psychology, the science of mental life* en el que proclamaba los procesos mentales como el principal objeto de estudio de la psicología (Gazzaniga y cols., 2009). Sobre la base conceptual de la Inteligencia Artificial, Newell, Shaw y Simon establecieron la nueva concepción de la psicología cognitiva, yendo más allá de la inteligencia artificial al proclamar que sus programas de ordenador resolvían problemas del mismo modo en que lo hacen los seres humanos. De hecho, aún perteneciendo al campo de la computación artificial, Herbert Simon es considerado por muchos como el fundador de la ciencia cognitiva (Posner y Digirolamo, 2000). Así, la nueva psicología cognitiva se inspiró en la metáfora del ordenador, centrando su objeto de estudio en la especificación del modo en que los seres humanos procesan información. La idea central era que la conducta se puede comprender en términos de operaciones sobre representaciones internas, asimilando la mente a un programa de ordenador (Kosslyn y Andersen, 1992). Este enfoque propició originalmente una escisión teórica entre la psicología cognitiva y las ciencias del cerebro, ya que el objetivo de las primeras consistía en dilucidar los programas con los que trabaja la mente humana, considerándose irrelevante el soporte físico sobre el que tales programas se implementan (el cerebro o un ordenador). En este sentido se consideraba que las teorías cognitivas debían referirse a la mente humana entendida como el conjunto de programas específicos de procesamiento de información que dan cuenta del modo en que se

realizan las distintas funciones psicológicas, sin tener en cuenta el modo en que funciona el cerebro como órgano biológico de la mente.

Sin embargo, los principales representantes de la psicología cognitiva consideraron pronto la necesidad de establecer relaciones entre el cerebro y la mente humanos. En este sentido, Simon advirtió de que los modelos de simulación por ordenador del pensamiento humano no debían desviar la atención de las aportaciones procedentes de la neurofisiología. Por su parte, dentro de la propia psicología cognitiva, Miller desarrolló tres presupuestos para poder establecer relaciones entre el cerebro humano y la conducta (Posner y DiGirolamo, 2000): 1) Que las funciones complejas se pueden descomponer en procesos más simples; 2) Que esos componentes se pueden localizar anató-

micamente y se pueden estudiar de un modo relativamente aislado; y 3) Que los procesos cerebrales más simples se pueden correlacionar de un modo directo con los procesos conductuales más simples.

En línea con la propuesta de Miller, una de las principales contribuciones de la psicología al surgimiento de la neurociencia cognitiva fue la aportación de procedimientos para medir los componentes individuales que forman parte de las funciones psicológicas complejas (Kosslyn y Andersen, 1992). Saul Sternberg puso de manifiesto que algunas tareas psicológicas se realizan mediante una serie de estadios discretos de procesamiento que se pueden analizar individualmente, y desarrolló el método de los factores aditivos para caracterizarlos. En esta misma línea, Posner diseñó tareas para evaluar aspectos elemen-

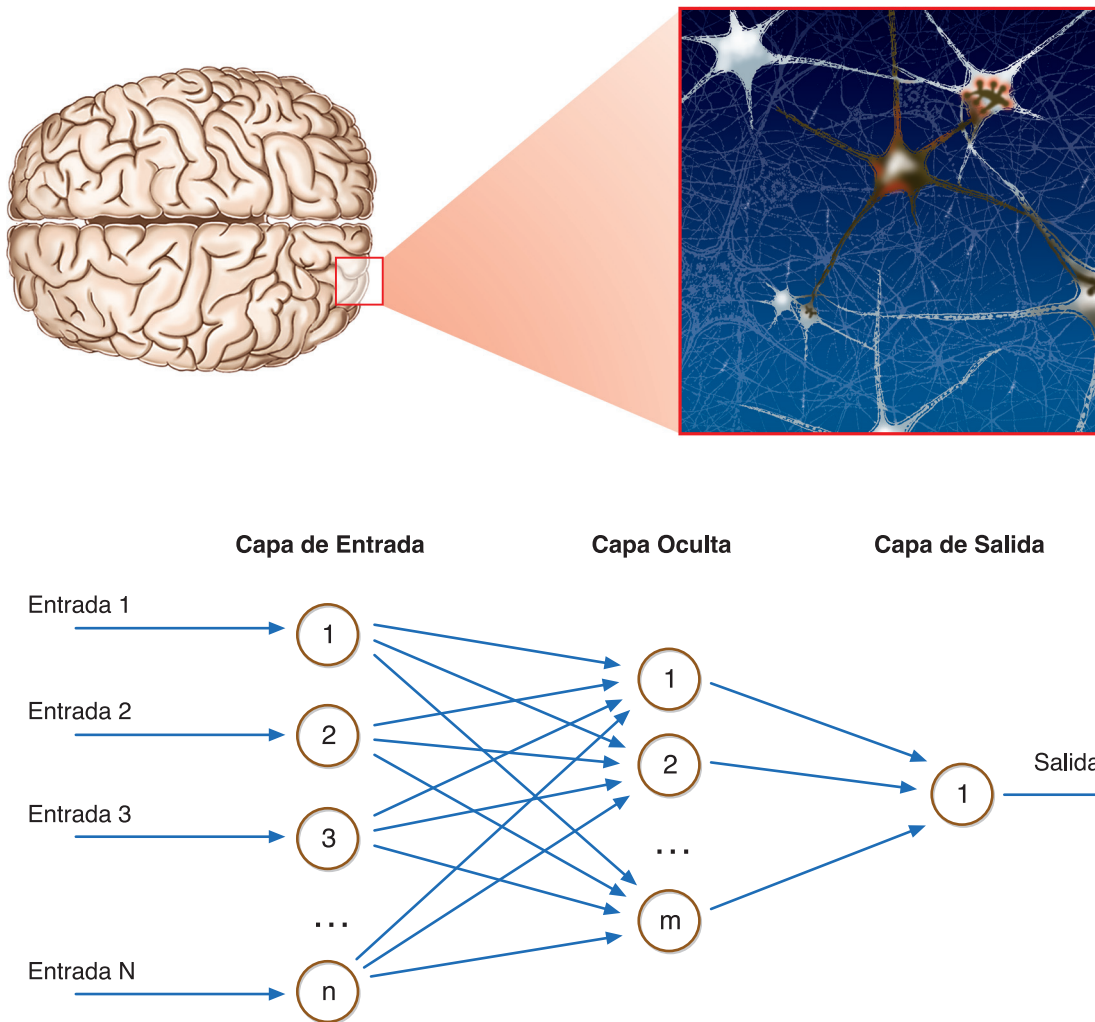


Figura 1.7 Esquema básico de los modelos de redes neuronales. Inspirados en principios generales del procesamiento cerebral, están compuestos de distintas capas de neuronas artificiales que procesan la información de forma distribuida y en paralelo.

tales del procesamiento de la información y poder así estudiar una función compleja como la atención analizando sus componentes individuales, haciendo una aportación fundamental a la confluencia entre psicología y neurociencia al proponer métodos para estudiar los componentes individuales del procesamiento de la información. Profundizando en la idea de Miller de que los procesos componentes de las funciones cognitivas complejas se pueden implementar biológicamente en regiones cerebrales discretas, Posner fue pionero en la incorporación de las técnicas de neuroimagen a sus estudios experimentales sobre la atención, siendo uno de los primeros psicólogos en dedicarse a la neurociencia cognitiva (Posner y cols., 1992). Esta misma orientación tuvieron los trabajos de Kosslyn sobre imágenes mentales al incorporar el uso de las técnicas de neuroimagen al estudio de pacientes con daño cerebral (Kosslyn y cols., 1993). Estos estudios promovieron en los años 80 entre los psicólogos cognitivos la idea de que el estudio del sustrato neurofisiológico de las funciones cognitivas impone límites a las teorías psicológicas, permitiendo contrastar empíricamente la validez de teorías alternativas sobre un mismo fenómeno.

Un último factor determinante de la confluencia entre psicología cognitiva y neurociencia la proporcionó el desarrollo de modelos conexionistas de procesamiento de la información a partir de la publicación en 1986 del libro ya clásico de Rumelhart y McClelland sobre procesamiento distribuido en paralelo. En él realizan una crítica de la metáfora del ordenador que había inspirado los modelos tradicionales en psicología cognitiva, basados en el procesamiento simbólico serial de los ordenadores digitales clásicos, que no se interesaban en absoluto por los principios básicos del procesamiento cerebral; y proponen desarrollar modelos inspirados en el funcionamiento real del cerebro. Una de las características fundamentales del cerebro es que está compuesto de millones de neuronas masivamente interconectadas que trabajan simultáneamente en paralelo. Inspirados en este principio organizativo, los modelos conexionistas están compuestos de numerosas unidades simples de computación (neuronas artificiales) interconectadas formando redes de procesamiento; estas redes procesan la información de forma distribuida en paralelo y en ellas la información se representa en forma de patrones de actividad y no de manera simbólica como en los ordenadores digitales (Fig. 1.7). Los modelos conexionistas llevaron a sustituir casi de inmediato la metáfora del ordenador por la metáfora del cerebro, dirigiendo el interés de la psicología hacia el funcionamiento cerebral y contribuyendo con ello de manera decisiva al surgimiento de la moderna neurociencia cognitiva.

4. APORTACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El desarrollo de las ciencias de la computación después de la Segunda Guerra Mundial ejerció una enorme influencia tanto en la psicología como en la neurociencia. Como ya hemos visto, la metáfora del ordenador inspiró de un modo decisivo el desarrollo de la psicología cognitiva, permitiendo abordar el estudio de las funciones mentales en términos de procesamiento de la información. De hecho, la analogía del ordenador resultó ser tan potente que contribuyó desde el inicio a concebir tanto el funcionamiento de la mente como el del cerebro en términos computacionales, incluso mucho antes de que se produjera una convergencia real entre psicología cognitiva y neurociencia. Así, los propios fundadores de las ciencias de la computación, von Neumann, McCulloch y Pitts, defendieron el paralelismo entre el cerebro y los ordenadores (Kosslyn y Andersen, 1992).

Turing dio un paso más allá, estableciendo las bases de la inteligencia artificial en un artículo seminal de 1950 en el que propuso un juego para determinar si los ordenadores se podían considerar máquinas inteligentes. El juego consistía en plantear preguntas a una persona y un ordenador, argumentando que si un observador externo no podía distinguir las respuestas que dan cada uno de ellos a las preguntas planteadas, habría que convenir que el ordenador se comporta de un modo inteligente. Este planteamiento, conocido como «prueba de Turing» se ha considerado como el criterio definitorio de inteligencia artificial (Fig. 1.8). Turing diferenció netamente la estructura

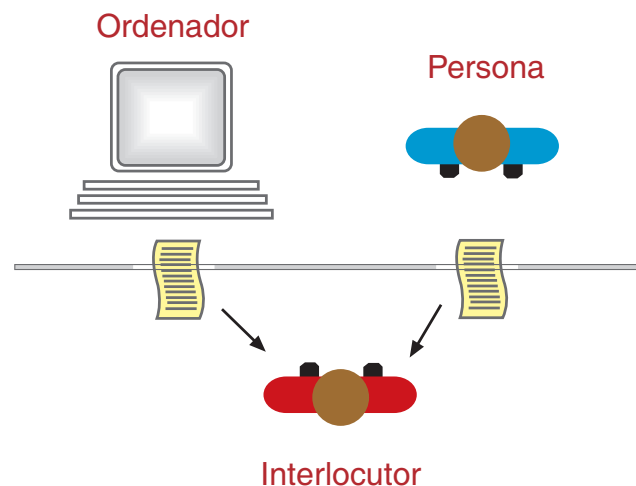


Figura 1.8

Esquema de la prueba de Turing, ver explicación en el texto.

física del ordenador (el hardware), de los programas (el software). Entendía que los programas eran los responsables reales de las operaciones o computaciones realizadas por el ordenador, es decir, la transformación de la información a partir de símbolos entrantes o inputs en símbolos de salida u outputs. Con objeto de construir máquinas inteligentes, la inteligencia artificial se centró en desarrollar programas que pudieran realizar funciones complejas a partir de un conjunto de procesos más simples, basados en el concepto central de computación.

Además de impulsar la emergencia de la psicología cognitiva, la inteligencia artificial proporcionó paralelamente un modo nuevo de entender el funcionamiento cerebral a partir del lenguaje computacional. El cerebro empezó a concebirse como un órgano especializado en el procesamiento de información y el término de computación comenzó a aplicarse no solo a las operaciones que realizan los ordenadores, sino también a las que realizan el cerebro y sus elementos funcionales, las neuronas. De hecho, análogamente a como el cerebro en su conjunto se considera como un gran sistema de procesamiento de información, cada neurona, como elemento funcional diferenciado, se puede concebir como un microprocesador que asimismo transforma las señales de entrada que recibe de otras neuronas a través de las sinapsis en señales de salida (potenciales de acción y liberación de neurotransmisores) que transmite a su vez a otras neuronas con las que establece contactos sinápticos.

Entre los principales impulsores de una convergencia entre neurociencia, psicología cognitiva y computación artificial se encuentra David Marr, quien desarrolló un trabajo interdisciplinar pionero en los años 70. Partiendo de un análisis computacional del sistema visual, Marr diferenció una jerarquía de niveles de análisis (Churchland y Sejnowski, 2000): 1) Un nivel estrictamente computacional de análisis abstracto del problema que permita identificar los elementos de la señal que va a ser computada (en su caso, el análisis de las señales visuales de entrada permite conocer los problemas que debe resolver el sistema computacional visual); 2) un nivel de algoritmo, esto es, de elaboración de un procedimiento formal (simbólico) que permita resolver las computaciones que el sistema debe realizar; y 3) un nivel de implementación física, que puede ser un ordenador o un sistema biológico (Fig. 1.9). Aunque sostuvo que cada uno de estos niveles de análisis se pueden estudiar de manera independiente, enfatizó que los dos niveles superiores (el del análisis computacional abstracto y el del algoritmo, que utilizan un lenguaje computacional), se relacionan con el nivel más bajo, el de la implementación física, que en condiciones naturales requiere un lenguaje bio-

D. Marr	A. Newell
Teoría computacional	Nivel de conocimiento
Representación y algoritmo	Nivel simbólico
Implementación	Nivel físico

Figura 1.9 Jerarquía de los niveles de procesamiento en el modelo de Marr, ver explicación en el texto.

lógico (Churchland y Sejnowski, 2000; Kosslyn y Andersen, 1992). De hecho, aunque su estudio sobre la visión partió de una perspectiva estrictamente formal y computacional, Marr tuvo en cuenta en su modelo del procesamiento visual aspectos de la neuroanatomía y la neurofisiología del sistema visual conocidos en su tiempo (Marr, 1982).

La doctrina de la independencia de los distintos niveles de análisis, fundamentalmente el del algoritmo (computacional) y el de la implementación física (biológico) fue, sin embargo, pronto cuestionada desde los modelos de redes neurales (Rumelhart y McClelland, 1986), que ya hemos comentado en el apartado anterior. Estos modelos demostraron de modo irrefutable la falacia de la independencia de los niveles computacional y biológico cuando se pretende elaborar modelos de ordenador que simulen de forma realista el modo en que el cerebro (el *ordenador biológico natural*) procesa información. La independencia entre los niveles computacional y biológico se puede mantener en la inteligencia artificial pura, cuyo objetivo es resolver problemas computacionales para que los ordenadores puedan resolver tareas concretas, realizando funciones que se pueden asimilar metafóricamente a lo que denominamos conducta inteligente, con independencia de que sus modelos sean o no biológicamente plausibles. Pero esta independencia es insostenible en los modelos de simulación por ordenador de funciones psicológicas reales, ya que éstos deben tener en cuenta los principios del funcionamiento cerebral, estableciendo relaciones entre las operaciones estrictamente cognitivas (computaciones) y la arquitectura física del cerebro y sus propiedades funcionales dinámicas (neuroanatomía y neurofisiología).

Como ya hemos comentado, los modelos de redes neurales artificiales, inspirándose en los principios

que subyacen al funcionamiento cerebral, están contruidos sobre arquitecturas de procesamiento distribuido en paralelo, en las que el conocimiento se representa en forma de patrones de activación de un conjunto de elementos (llamados neuronas artificiales) que están conectados con pesos específicos, asimilables a la fuerza sináptica que se da en las conexiones entre las neuronas naturales.

5. APROXIMACIÓN DE LA NEUROCIENCIA COGNITIVA AL ESTUDIO DE LOS PROCESOS MENTALES

Como hemos visto, la neurociencia cognitiva surgió a finales de los años 80 de la confluencia entre neurociencia, psicología cognitiva e inteligencia artificial. Kosslyn y Anderssen (1992) representan gráficamente la aproximación de la disciplina a través de un triángulo, en cuyo vértice superior sitúan la conducta y en los dos vértices inferiores la neurociencia y la computación artificial (Fig. 1.10).

Considerando el vértice superior, la conducta, el objetivo consiste en conocer las reglas que explican el funcionamiento de un determinado sistema funcional (como la visión, la memoria, el lenguaje, etc.). Dicho conocimiento procede fundamentalmente de la psicología cognitiva, que ofrece modelos sobre las operaciones mentales implicadas en las distintas funciones.

El segundo vértice del triángulo le corresponde a la neurociencia, que proporciona información sobre la neuroanatomía y la neurofisiología del cerebro. En

ambos casos, la descripción de la organización cerebral se puede realizar a distintas escalas: Desde el nivel molecular, el de neuronas y sinapsis, el de redes neuronales locales y el de sistemas neurales que se distribuyen en distintas localizaciones cerebrales. En cada uno de estos niveles, se producen descripciones conceptuales distintas acerca de la organización estructural y la actividad fisiológica del cerebro; pero es importante no olvidar que todas ellas son abstracciones que reflejan distintos niveles de análisis de la misma realidad, el cerebro, y que en su funcionamiento real todos estos niveles de organización están integrados.

El tercer vértice del triángulo lo proporcionan las ciencias de la computación, y más en concreto los modelos computacionales que están inspirados en la neuroanatomía y la neurofisiología cerebrales. Churchland y Sejnowski (1992, 2000) son ardientes defensores de lo fructífero de la convergencia entre neurociencia y computación artificial, habiendo estimulado el desarrollo de lo que denominan modelos neurocomputacionales; es decir, la elaboración de modelos artificiales que tengan en cuenta las restricciones que los datos neurobiológicos imponen a las teorías meramente computacionales. Como ya hemos visto, los modelos de redes neurales, de inspiración biológica, permiten tener en cuenta tales restricciones. Su desarrollo está haciendo posible modelizar las propiedades integradoras tanto de neuronas individuales como de agrupaciones neuronales y de circuitos funcionales del cerebro, poniendo de manifiesto el modo en que ciertas funciones complejas, como la memoria asociativa, pueden emerger de las propiedades intrínsecas de redes neurales artificiales. En este contexto, es evidente que el conocimiento neurobiológico es indispensable para elaborar modelos computacionales que permitan dar cuenta del modo en que la actividad de circuitos y sistemas cerebrales puede resultar en capacidades funcionales complejas, como las que caracterizan a los organismos biológicos.

De este modo, la neurociencia cognitiva se ha constituido como un campo de estudio netamente interdisciplinar, basado en la integración de conceptos y estrategias de estudio procedentes de las tres disciplinas implicadas en su fundación.

En este texto, nosotros nos centraremos en la confluencia entre psicología cognitiva y neurociencia y en las aportaciones que desde la perspectiva de la neurociencia cognitiva se están produciendo en el conocimiento de los mecanismos cerebrales implicados en las funciones psicológicas complejas características de los humanos. Como veremos a lo largo del libro, las aportaciones que se están realizando desde la neurociencia cognitiva en los distintos campos de estudio están abriendo nuevas perspectivas para la compren-

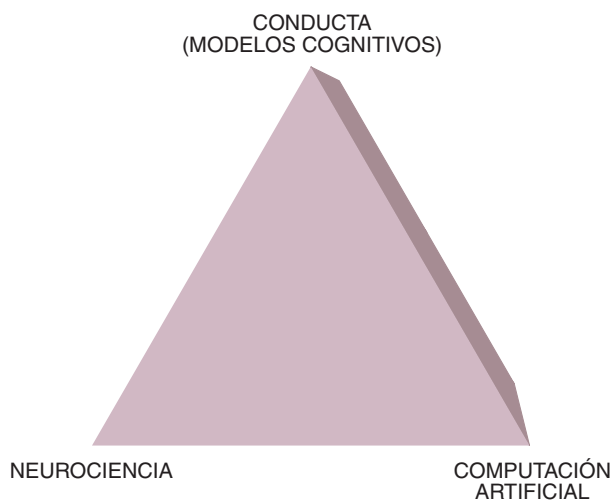


Figura 1.10 Representación gráfica de Kosslyn y Andersen de la Neurociencia Cognitiva. Ver explicación en el texto.

sión de la implementación neural de las funciones psicológicas. Tomada en conjunto, la investigación ha puesto de manifiesto que existe una especialización funcional, es decir, una especialización local en el procesamiento de información de aspectos funcionales concretos dentro de una función dada, pero al mismo tiempo ha mostrado que dicha especialización está segregada anatómicamente a través de distintas regiones corticales (y cerebrales en general). Por ello, la moderna neurociencia cognitiva ha adoptado explícitamente una perspectiva de sistemas funcionales, que trabajan de forma dinámica. Así, se acepta que las regiones cerebrales que constituyen un sistema funcional dado están especializadas computacionalmente (es decir, que realizan ciertas operaciones dentro del

sistema y no otras); sin embargo, la naturaleza exacta de sus computaciones depende del contexto, como por ejemplo de los inputs que reciben de otras regiones. El resultado final del funcionamiento del sistema, por tanto, depende del contexto neural en el que cada región especializada realiza sus operaciones computacionales en cada momento (como por ejemplo, el número y tipo de sinapsis –excitatorias o inhibitorias– que está recibiendo, algo continuamente cambiante en el tiempo), de modo que las interacciones entre los distintos componentes del sistema son eminentemente dinámicas. Este carácter dinámico del funcionamiento cerebral le otorga en su conjunto una enorme riqueza y flexibilidad, fundamental para maximizar sus capacidades adaptativas.

RESUMEN

En este capítulo hemos descrito las bases históricas fundacionales de la Neurociencia Cognitiva, como campo científico eminentemente interdisciplinar. Hemos analizado las principales aportaciones de las distintas disciplinas que la integran, la psicología (y dentro de ella, la psicología cognitiva en particular), la neurociencia, y la inteligencia artificial. A partir de la intersección entre estas tres disciplinas, hemos tratado finalmente la perspectiva que caracteriza el estudio de los procesos mentales desde la neurociencia cognitiva, con especial énfasis en la confluencia entre psicología y neurociencia, en la que está centrada este texto.

PALABRAS CLAVE

- Neurociencia Cognitiva
- Localizacionismo/antilocacionismo
- Metáfora del ordenador
- Metáfora del cerebro
- Redes neurales naturales
- Redes neurales artificiales
- Conexionismo

LECTURAS RECOMENDADAS

- Churchland, P.S. y Sejnowski, T.J. (1992). *The Computational Brain*. Cambridge: MIT Press.
- Gazzaniga, M.S. (2000). *Neuroscience. A Reader*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Gazzaniga, M.S., Ivry, R.B. y Mangun, G.R. (2009). *Cognitive Neuroscience*. New York: Norton and Company.