

Biología del aprendizaje*

Gerardo Campo-Cabal¹

Resumen

El esfuerzo por correlacionar el funcionamiento mental con el biológico ha oscilado entre dos doctrinas: una intenta explicar el funcionamiento mental como una propiedad colectiva del cerebro y la otra relaciona procesos mentales con regiones específicas del encéfalo. El artículo recorre las principales teorías aparecidas en los últimos doscientos años: la frenología, el campo agregado del encéfalo, la acción de masa, el conexionismo celular y el procesamiento distribuido, entre otros, hasta los planteamientos surgidos en los últimos años, que permiten aproximarse a una comprensión de los determinantes biológicos y las diferencias individuales en los procesos mentales complejos a través de lo que se ha llamado *neurociencia cognitiva*. Conocer la definición de la neurociencia del aprendizaje y la memoria, los modos como ocurre el aprendizaje, los principios de las bases neurales de la memoria y los efectos del aprendizaje sobre el funcionamiento cerebral, entre otros conceptos, nos permite la comprensión básica de los procesos de memoria y aprendizaje como un requisito importante para poder abordar de la mejor manera el compromiso de formar a los futuros especialistas en psiquiatría.

Palabras clave: Aprendizaje, biología, cerebro, memoria

Title: The Biology of Learning

Abstract

The effort to relate mental and biological functioning has fluctuated between two doctrines: 1) an attempt to explain mental functioning as a collective property of the brain and 2) as one related to other mental processes associated with specific regions of the brain. The article reviews the main theories developed over the last 200 years: phrenology, the psuedo study of the brain, mass action, cellular connectionism and distributed processing among others. In addition, approaches have emerged in recent years that allows for an understanding of the biological determinants and individual differences in complex mental processes through what is called *cognitive neuroscience*. Knowing the definition of neuroscience, the learning of memory, the ways in which learning occurs, the principles of the neural basis of memory and learning and its effects on brain function, among other things, allows us the basic understanding of the processes of memory and learning and is an important requirement to

* Este artículo surge a partir de una conferencia ofrecida en desarrollo del *Primer Seminario Taller Internacional 'Talento y Excepcionalidad. Manejo en el Aula'*, organizado por FYCOMUNDYT y la Fundación Norma Rivas T., Cali.

¹ Psiquiatra y Magister en Educación Médica, Profesor Titular y Jefe de Departamento, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

address the best manner to commit to the of training future specialists in Psychiatry.

Key words: Learning, biology, brain, memory

El esfuerzo por correlacionar el funcionamiento mental con el biológico ha oscilado entre dos doctrinas, una que intenta explicar el funcionamiento mental como una propiedad colectiva del cerebro, y otra que relaciona procesos mentales con regiones específicas del encéfalo.

A finales del siglo XVIII, F. J. Gall plantea que el cerebro no es un órgano único, sino que está compuesto por más de 35 órganos independientes, cada uno de los cuales corresponde a una facultad mental específica e, incluso, a un rasgo de carácter en particular, lo que da lugar a lo que se conocería como *frenología* o *personología* anatómica.

Rápidamente, este planteamiento es controvertido, no solo por el pobre sustento científico, como por la postura filosófico-religiosa que se oponía al supuesto reduccionismo materialista de concebir la mente como algo completamente biológico, postura basada en los experimentos realizados con animales por el francés Pierre Flourens, en 1820, y expresados en la teoría del *campo agregado del encéfalo*. Esta, pese a los hallazgos que poco después comenzaron a producirse, prevaleció hasta mediados del siglo XX, con defensores tan eminentes como Pavlov, Head, Goldstein, Loeb y muy especialmente el psicólogo americano

Kart Lashley, quien reformuló la teoría del funcionamiento cerebral en lo que llamó *acción de masa*, que restaba toda importancia a las neuronas, a sus conexiones y a las regiones encefálicas en particular.

Esta teoría descalificaba los hallazgos obtenidos por Hughlings Jackson, quien a mediados del siglo XIX había demostrado que diversos procesos sensoriales y motores se localizan en diferentes áreas de la corteza cerebral; la asociación encontrada por Pierre Paul Broca entre pacientes con afasia expresiva y lesiones en región posterior del lóbulo frontal izquierdo; y el enfoque del *conexionismo celular*, desarrollado por Wernicke, Sherrington y Ramón y Cajal, que demostraba cómo diferentes conductas están regidas por diferentes áreas cerebrales e interconectadas entre sí.

Posteriormente, Karl Wernicke intenta conciliar los dos enfoques, al proponer el *procesamiento distribuido*, esto es, que las funciones mentales más básicas, como las actividades perceptivas y motoras, estarían localizadas en áreas específicas, mientras que las funciones más complejas serían el resultado de interconexiones entre varias áreas encefálicas, como ejemplifica magistralmente por medio de su modelo del lenguaje:

Al escuchar o leer se producen percepciones auditivas (área de Wernicke en la parte posterior del lóbulo temporal) o percepciones visuales

(área 17 del lóbulo occipital) que corresponden a las áreas sensoriales primarias; de estos sitios, la representación neural de estas percepciones son transmitidas al giro angular, área de asociación especializada tanto en información auditiva como visual, en donde las palabras habladas y escritas se transforman en un código o representación neural común; luego la transmisión discurre hasta el área de Wernicke, donde se reconoce como lenguaje y se asocia con un significado; este código neural común se transmite después al área de Broca a través del fascículo arqueado, en donde es convertida la representación sensorial visual o auditiva en una representación motora, que da lugar a una expresión hablada o escrita.

Este modelo solo es reelaborado hasta 1984, por Geschwind y Damasio, al explicar la diferencia entre una palabra que se escucha y una que se lee, en lo cual intervienen sistemas en paralelo y no exclusivamente en serie, como había postulado Wernicke, y las manifestaciones clínicas asociadas con lesiones selectivas de las diferentes áreas involucradas.

A principios del siglo XX se produce entonces un auge de investigación en localización cortical, que establecía cómo las áreas corticales pueden definirse por la *citoarquitectura*, esto es, con base en el tipo de células, su estratificación, las conexiones aferentes y eferentes, y lo más importante, su función fisiológica.

Los principales exponentes de estos avances están personalizados por

Brodman, Adrian, Marshall, Bard, Rose y Woolsey, quienes se aproximaron a la comprensión actual de que la especialización regional es un principio básico de la organización cortical y que el cerebro se divide en regiones funcionales. Estos resultados fueron corroborados por los hallazgos de Wilder Penfield, quien, estimulando directamente áreas corticales, confirmó las áreas descritas por Broca y Wernicke; y, más recientemente, por Michael Posner y Marcus Raichle. Estos, utilizando tomografía por emisión de positrones en individuos normales, han evidenciado los cambios locales en el flujo sanguíneo y el metabolismo, asociados con actividades como leer, hablar e incluso pensar.

La última década del siglo XX, denominada 'la década del cerebro', permitió significativos avances en la comprensión de los determinantes biológicos y las diferencias individuales en lo referente a memoria, aprendizaje y otros procesos mentales complejos; en especial, por los desarrollos experimentados por la imagenología y su aplicación al estudio no solo de las estructuras cerebrales, sino de su funcionamiento.

Como mencionan Kandel y colaboradores, la *neurociencia* como ciencia surge durante el último siglo, y en especial en los últimos 20 a 30 años, con aportes de disciplinas como la neuroanatomía, electrofisiología, biología celular, biología del desarrollo, psicología cognitiva, farmacología, con el propósito

de “comprender cómo el encéfalo produce la marcada individualidad de la acción humana”, o, en otras palabras, cómo la dinámica molecular de las neuronas individuales y las conexiones entre ellas producen nuestra percepción del mundo externo, centran nuestra atención y controlan nuestro accionar; es decir, el funcionamiento mental a través de lo que se ha dado en llamar *neurociencia cognitiva*.

Todo lo resumido hasta aquí permite afirmar con base en la evidencia que regiones particulares del encéfalo son responsables de operaciones elementales, y que las interconexiones en serie y en paralelo de estas regiones posibilitan la expresión de procesos más complejos; procesos que, al corresponder a muchas vías neurales, pueden permanecer al presentarse una lesión o recuperarse parcial o totalmente, una vez las áreas indemnes se reorganizan y asumen la función perdida. En otras palabras, procesos mentales como pensar, percibir, recordar o aprender no son funciones únicas e indivisibles, por el contrario, pueden descomponerse en múltiples subfunciones de información y procesamiento, las cuales pueden verse afectadas por lesiones selectivas sin que la función en su totalidad se vea abolida.

La corteza cerebral se divide en cuatro lóbulos funcionales (frontal, parietal, temporal y occipital); en cada lóbulo existen áreas del córtex relacionadas con el procesamiento

de la información sensorial y motora, que, dependiendo del nivel de complejidad, se denominan primarias, reciben información sensorial directamente de los receptores o proyectan directamente a las motoneuronas somáticas ubicadas en la médula espinal; o secundarias y terciarias, que procesan aspectos complejos de un sentido en particular o información relacionada con una función motora. Estas áreas se encuentran rodeadas por otras tres grandes áreas llamadas *asociativas*, cuya función es integrar la información diversa recibida y poder generar una acción propositiva, y, por tanto, participan en las tres principales funciones del encéfalo: la percepción, el movimiento y la motivación.

El *córtex asociativo frontal* se encarga de la planificación de los movimientos voluntarios; el *córtex asociativo parieto-témporo-occipital* se ocupa de las funciones perceptivas superiores (audición, visión y sensaciones somáticas) para formar percepciones complejas; y el *córtex asociativo límbico*, que involucra regiones de los lóbulos frontal, parietal y temporal, y se dedica a la motivación, la emoción y la memoria:

Un acto sencillo como oprimir un timbre ejemplifica la interacción entre los sistemas sensorial, motor y motivacional: los fotorreceptores de la visión (conos y bastones) son impactados por la energía lumínica proveniente del timbre, provocándose una despolarización de la membrana receptora (transducción del estímulo)

y evocando una descarga de potenciales de acción (codificación neural) que transmite la información a los centros sensoriales primarios ubicados en el lóbulo occipital (área 17); posteriormente esta información sensorial alimenta las áreas asociativas del córtex frontal donde se planifica el movimiento, para posteriormente transmitir esta información al sistema motor que genera órdenes para ejecutar la acción de pulsar el timbre; pero asociado al hecho de que si bien los sistemas sensoriales y motores son importantes para la acción de oprimir el timbre, la decisión de iniciar y realizar esta conducta se regula mediante el sistema motivacional, por ejemplo el castigo paterno que se adivina y retarda la conducta, o la manifestación amorosa que se prevé y motiva la acción.

El procesamiento de la información sensorial, la programación de las respuestas motoras, el aprendizaje y la memoria son todas ejecutadas por conjuntos de neuronas interconectadas; ahora bien, en general cada conducta se origina en la actividad de muchas células y de varios sistemas paralelos de grupos neuronales, que transportan la información de características parecidas a áreas específicas del córtex encefálico, como ocurre con la información de cada uno de los sentidos, audición, visión, olfato, etc., lo cual da lugar al menos a dos tipos de mapas o representaciones: uno para las percepciones sensoriales y el otro para las órdenes motoras, y

los dos mapas interconectados de un modo no totalmente comprendido. Todas estas conexiones pueden modificarse durante el desarrollo y posteriormente con el aprendizaje; esta plasticidad en la relación entre las neuronas es la que nos proporciona la individualidad.

Centremos ahora la atención en los mecanismos mediante los cuales los sucesos ambientales modelan la conducta: el aprendizaje y la memoria. En el *Diccionario de la lengua española* de la Real Academia Española, el *aprendizaje* es definido como la acción y efecto de aprender algún arte, oficio u otra cosa; el tiempo que en ello se emplea. En psicología es entendido como la adquisición por la práctica de una conducta duradera; y de las 14 acepciones presentadas para la *memoria* sobresalen las dos siguientes: facultad psíquica por medio de la cual se retiene y recuerda el pasado; y la segunda, que nos recuerda posturas filosófico-religiosas que por mucho tiempo limitaron el estudio científico del comportamiento humano, “en la filosofía escolástica, una de las potencias del alma”.

La neurociencia define el *aprendizaje* como el proceso por el cual nosotros y otros animales adquirimos conocimientos sobre el mundo, y la *memoria*, como la retención o el almacenamiento de dicho conocimiento.

La biología y el medio ambiente son factores necesariamente entrelazados cuando intentamos explicar cómo se produce el aprendizaje. Tradicional-

mente, se han utilizado varios indicadores para medir el funcionamiento neurológico asociado con diferencias individuales en el procesamiento de información básica en humanos, por ejemplo: el tiempo de reacción, la velocidad de conducción nerviosa, la adaptabilidad neural medida por electroencefalograma (por ejemplo, EEG), las diferencias relacionadas con la inteligencia global del individuo. Adicionalmente, los psicólogos cognitivos han aportado evidencia de cómo la eficiencia en el procesamiento mediado biológicamente contribuye al neurodesarrollo y a la inteligencia.

Al igual que con los otros procesos mentales, la *memoria* fue considerada por casi una centuria una propiedad del córtex cerebral en su totalidad, y de hecho en la actualidad se sabe que implica muchas áreas del cerebro; no obstante, existen diferentes tipos de memorias y ciertas regiones encefálicas son más importantes para determinados tipos.

W. Penfield fue el primero en confirmar este hecho, cuando ocasionalmente observaba que al estimular cierta zona del lóbulo temporal, alrededor del 8% de los pacientes experimentaban *respuesta de experiencia*, caracterizada por episodios de rememoración coherente de experiencias del pasado remoto. Posteriormente, su colega Brenda Milner describió el caso de H. M., a quien, con fines terapéuticos, se le extirpó la parte medial de los lóbulos temporales, y presentó como secuela la pérdida de la capacidad de formar nuevas

memorias a largo plazo; aun cuando la memoria a corto plazo estaba conservada, esta no podía convertirse en memoria a largo plazo. El paciente podía aprender nuevas habilidades motoras y varios aprendizajes reflejos simples de habituación, sensibilización, condicionamiento clásico y condicionamiento operante; al igual que ciertos aprendizajes perceptivos, teniendo en común todos estos aprendizajes: el carácter automático de estos y el hecho de no requerir un recuerdo consciente ni capacidades cognitivas complejas como evaluación y comparación.

Con base en el paciente H. M. y otros con ablación temporal bilateral se hace evidente la existencia de dos modos de aprendizaje diferentes:

- Aprender acerca de qué es el mundo: recordar personas, lugares y acontecimientos, utilizando una forma de memoria que ha sido llamada *memoria explícita*. Su formación depende de procesos cognitivos como evaluación, comparación, inferencias, para generar una memoria consistente y coherente que puede ser recordada por evocación. Con base en sujetos amnésicos se ha ubicado encefálicamente en el lóbulo temporal, lo que implica diferentes mecanismos para los recuerdos autobiográficos y para los hechos, de manera que un individuo puede olvidar vivencias significativas

de su pasado y conservar un vasto repertorio de recuerdos de hechos. Específicamente, el sistema de memoria del lóbulo temporal medial está constituido por: el hipocampo, el córtex entorrinal (*input* al hipocampo), el subículo (al cual proyecta el hipocampo) y el córtex de la región parahipocampal; donde el hipocampo podría ser o bien una estación transitoria de la memoria a largo plazo que luego es transmitida a diferentes áreas del córtex cerebral, o bien un sistema facilitador para el almacenamiento de los recuerdos en otras áreas encefálicas.

- Aprender a cómo hacer las cosas: al adquirir habilidades motoras o perceptivas que no están disponibles para la conciencia, a través de una *memoria implícita*. Es de carácter automático y su formación y evocación no dependen por completo de la conciencia o de los procesos cognitivos; se adquieren por la práctica y repetición, que conducen a un aumento en el rendimiento, pero que no pueden describirse con palabras, por ejemplo, las habilidades motoras y perceptivas. La localización encefálica del aprender estas tareas se asocia con la activación de determinados sistemas sensoriales y motores involucrados en la ejecución de la citada tarea, y se propone que se retienen por mecanismos de almacenamiento

intrínseco de estos sistemas. Otras áreas involucradas en el aprendizaje implícito son el cerebelo y la amígdala.

El aprendizaje implícito puede ser no asociativo (habitución, sensibilización, imitación) y asociativo (condicionamiento clásico por el emparejamiento de dos estímulos, condicionamiento operante que implica aprender la relación entre un estímulo y la conducta de un organismo). Tanto en el condicionamiento clásico como en el operante existen dos leyes que los rigen: la distribución temporal o *timing*, esto es, el intervalo óptimo entre el estímulo condicionante y el estímulo incondicionado, o entre la respuesta y el reforzamiento; y las relaciones de predicción, o sea, aprender que un estímulo predice un acontecimiento posterior, o aprender a predecir las consecuencias de su conducta.

Las bases neurales de la memoria pueden resumirse en dos principios: el primero, que la memoria tiene fases, esto es, que la memoria se almacena en fases; la información que ingresa al cerebro se procesa en un almacén a corto plazo de capacidad limitada, y si no se repite, dura pocos minutos; pero la información almacenada allí es posteriormente transmitida, por algún tipo de proceso, a un almacén de largo plazo, que es más permanente y resistente a las eventuales lesiones del encéfalo.

Cuando se requiere información para la ejecución de una determinada tarea, un sistema de búsqueda y recuperación la ubica en este almacén de memoria. Este modelo explica por qué las memorias a corto plazo son más vulnerables, o dependen de cuál de los dos almacenes es lesionado, y por qué si el daño es en el sistema de recuperación y búsqueda, la memoria del remoto pasado puede comprometerse temporalmente para luego ocurrir una recuperación gradual.

El segundo principio se refiere a que la memoria se localiza generalmente en diferentes lugares en todo el sistema nervioso, por lo que se explica que aun ante lesiones extensas permanezcan algunos elementos de la información almacenada y, con base en ella, reconstruir de manera bastante afortunada la información original. Sin embargo, es innegable que ciertas áreas encefálicas, como el hipocampo y el cerebelo, participan principalmente en las memorias explícita e implícita, respectivamente, sin poder por ello afirmar hasta qué punto dichas estructuras almacenan la representación física de las memorias, o su función en facilitar el almacenamiento o el desciframiento de la información en otras áreas del cerebro.

Muchos aspectos de la conducta son el resultado de la capacidad de aprender de la experiencia; se puede afirmar que somos quienes realmente somos por lo que aprendemos y recordamos.

No es dable terminar sin intentar describir, así sea brevemente,

los mecanismos por los que el aprendizaje altera la estructura y el funcionamiento de las células nerviosas y sus conexiones. Las formas implícitas del aprendizaje y de memoria más sencillas, como la habituación (estímulo no recompensador o inofensivo) y la sensibilización (respuesta más intensa cuando aprende que un estímulo es nocivo), implican cambios en la eficacia de las conexiones sinápticas específicas. En el primero, se produce una depresión o reducción de la efectividad de las conexiones sinápticas; en la segunda, se produce un aumento en la actividad de las conexiones sinápticas que hacen más viva la preparación de los reflejos defensivos de retirada y de huida.

Para el almacenamiento a largo plazo se ha demostrado la necesidad de que en el soma neuronal se activen genes en el núcleo encargados de sintetizar proteínas, y del crecimiento de las conexiones presinápticas (en la sensibilización a largo plazo) o a la pérdida de dichas conexiones presinápticas en la habituación a largo plazo.

En el condicionamiento clásico se requiere una forma más compleja de aprendizaje, ya no solo se aprenden las propiedades de un estímulo (inofensivo, no recompensador, nocivo), sino que el sujeto aprende a asociar un estímulo con otro; para ello, es crítico el curso temporal, al presentar primero el estímulo condicionado y el incondicionado, generalmente no más allá de 0,5

segundos después. Esta secuenciación permite que las interneuronas que conectan las neuronas sensoriales con las motoneuronas sean inmediatamente activadas por el estímulo incondicionado, mientras las neuronas sensoriales están siendo activadas por el estímulo condicionado, lo que provoca una facilitación presináptica cada vez mayor. El almacenamiento de la memoria explícita implica la potenciación a largo plazo en el hipocampo.

Bibliografía recomendada

- Damasio AR, Geschwind N. The neural basis of language. *An Rev. Neurosci.* 1984;7:127-47.
- Jensen AR. Reaction time and psychometric. En: Eysenck HJ, editor. *A model for intelligence*. Berlín: Springer-Verlag; 1982.
- Kail R. Processing speed, speech rate, and memory. *Developmental psychology.* 1992;28:899-904.
- Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. *Neurociencia y conducta*. Madrid: Prentice Hall; 1997.
- Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. *Principles of neural science*. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2000.
- Marshall-Goodell BS, Tassinary LG, Cacioppo JT. Principles of bioelectrical measurement. En: Cacioppo JT, Tassinary LG, eds. *Principles of psychophysiology*. Cambridge: Cambridge University Press; 1990.
- Real Academia Española. *Diccionario de la Lengua Española*. Vigésima Segunda Edición. Madrid: RAE; 2001.
- Shaffo M. *How we know*. San Francisco: Harper and Row; 1985.

Conflictos de interés: El autor manifiesta que no tiene conflictos de interés en este artículo.

Recibido para evaluación: 10 de noviembre de 2011

Aceptado para publicación: 18 de mayo de 2012

Correspondencia
Gerardo Campo-Cabal
Jefe del Departamento de Psiquiatría
Universidad del Valle
Calle 5ª No.36-00
Cali, Colombia
gercampo@univalle.edu.co