



## El cerebro: aquella inestable matriz

**Fernando Cárdenas P.**

Doctor en Neurociencia Comportamental  
Maestría en Ciencias, Psicobiología  
Universidad de los Andes  
Bogotá, Colombia



**Marisol Lamprea**

Universidad Nacional de Colombia

 Ver perfil del autor

Fecha publicación: 28/noviembre/2002

Para citar este artículo:

---

Cárdenas F. (2002, 28 de noviembre). El cerebro: aquella inestable matriz. *Revista Psicología Científica.com*, 4(15).  
Disponible en: <http://www.psicologiacientifica.com/bv/psicologia-198-1-el-cerebro-aquella-inestable-matriz.html>

---

### RESUMEN

No hace mucho tiempo, los círculos no académicos tendían a equiparar ciencia y ficción. Ahora, a las puertas del nuevo milenio, la brecha entre ciencia y cotidianidad parece estarse desvaneciendo, quizá como consecuencia del fácil acceso a la tecnología. Como una consecuencia de esto, día a día la forma tradicional de encarar las grandes preguntas filosóficas de la humanidad se ve desafiada por nuevas ideologías. Términos como *consciencia, mente, personalidad, voluntad e incluso humanidad* están adquiriendo nuevas dimensiones. En el caso particular de la psicología, los recientes avances en neurobiología están reestructurando los pilares que durante mucho tiempo mantuvieron erigidas las teorías. En este artículo se presenta un ejemplo de cómo algunos conceptos neurobiológicos sencillos pueden modificar el curso del pensamiento en psicología.

**Palabras clave:** neurobiología, mecanismos cerebrales, memoria

### Introducción

Quizá una de las áreas más apasionantes dentro de la neurociencia sea el estudio de los mecanismos cerebrales subyacentes a la formación de los recuerdos. Para la comprensión de algunos de estos mecanismos, la utilización de modelos animales fue una de las estrategias más populares durante la última parte del siglo. Sin embargo, actualmente estudios a nivel celular, subcelular o molecular parecen dominar el panorama. El crecimiento tecnológico, junto con el auge actual de los trabajos de corte transdisciplinario, están erigiendo el diálogo entre neurobiología y psicología como la mejor alternativa para la creación de una teoría general del comportamiento, a partir de la cual nuevas hipótesis de trabajo serán creadas. En este artículo se presentan algunos elementos útiles en la construcción de un marco teórico alternativo o complementario a los tradicionales sobre el problema de la memoria. El interés de este documento es presentar algunos hechos capaces de suscitar una posición crítica sobre la óptica desde la cual los procesos de memoria son entendidos en la psicología tradicional. Por otro lado, y debido a que es previsible que la psicología de los próximos años presente importantes avances teóricos en concordancia con los avances en otros campos del saber, particularmente en neurociencia, se intentará mantener una visión psicobiológica a lo largo de todo el escrito. Lo que sigue ha de ser

considerado sólo como una reflexión inacabada, cuyo único objetivo es ejemplificar cómo los conocimientos derivados de la neurobiología pueden ayudar a dirigir los pasos de la teorización en psicología.

## Generalidades

Una abeja que atraída por el aroma, se aproxima a una flor; un salmón luchando contra la corriente en una catarata; un felino arqueando el lomo y exhibiendo los dientes durante una lucha están haciendo uso de los llamados comportamientos específicos de especie. Este nombre no describe otra cosa sino respuestas estereotipadas relativamente independientes de la experiencia y resistentes a la modificación. Característicos de casi todo comportamiento invertebrado, estos patrones estereotipados ejercen, en los vertebrados, solo una limitada influencia sobre el comportamiento. De hecho, puede afirmarse que a medida que aumenta la complejidad de los sistemas nerviosos (y con ella las posibilidades perceptuales), procesos de autodireccionamiento van alcanzando mayor relevancia en la modulación, producción y regulación del comportamiento, desvaneciendo el papel jugado por los comportamientos específicos de especie. Se sabe que la forma más importante mediante la cual el ambiente altera el comportamiento es el aprendizaje.

## Algunos conceptos básicos

El *aprendizaje* puede definirse como el proceso de adquisición de conocimientos acerca del mundo, en tanto que memoria sería mejor definida como los mecanismos que aseguran la retención, el almacenamiento y el recobro de tales conocimientos. Usando conceptos y técnicas desarrollados a comienzo del presente siglo, se identificaron dos tipos fundamentales de aprendizaje. El primero de ellos, denominado *aprendizaje no asociativo*, se da luego de la exposición repetida de un animal ante un estímulo. Esa prolongada exposición permite la obtención de informaciones sobre el estímulo. Es este tipo de aprendizaje el que permite que nos acostumbremos, por ejemplo, al sonido de los autos que pasan por una avenida próxima a nuestra casa, o al tic-tac nocturno de un reloj, todo esto gracias a un proceso llamado habituación. Sin embargo, existen otros casos en los cuales el estímulo ante el cual el animal es expuesto es demasiado intenso. En estos casos ocurre un proceso inverso, denominado *sensibilización*. La sensibilización es de gran importancia en la lucha por la supervivencia de las especies y puede ser observada como componente principal del comportamiento de organismos muy primitivos.

Además, de estos tipos simples de aprendizaje surgen otros un poco más complejos, en los que se aprende sobre las relaciones entre dos o más estímulos, o entre ellos y nuestro propio comportamiento. Este tipo de aprendizaje, denominado *aprendizaje asociativo*, es el responsable de eventos tales como la salivación ante el solo pensamiento de morder un limón o la motivación a conducir nuestra vida social de acuerdo con las normas éticas y morales del momento.

Un esquema complementario para la clasificación de los tipos de aprendizaje se basa en el tipo de conocimiento adquirido por el organismo durante el proceso. Piénsese en la diferencia existente entre, por un lado, memorizar eventos como la fecha del cumpleaños de algún ser querido (u odiado), o una serie de definiciones del diccionario y, por otro, acciones como dirigir un auto o bucear. En el primer caso se está haciendo uso de la llamada *memoria declarativa*, a través de la cual recordamos hechos o eventos relevantes que pueden ser comunicados a otros. En el segundo caso se está utilizando otra forma de memoria denominada *memoria procedimental*, mediante la cual aprendemos procedimientos o habilidades motrices. La memoria declarativa, quizá por la mediación lingüística, se forma relativamente con mayor rapidez, en tanto que la memoria procedimental requiere de repetición y práctica para su formación. De la misma forma, la memoria declarativa parece ser más susceptible del olvido, mientras que la procedimental se muestra más resistente.

Además de aquellas dos formas de clasificar los tipos de memoria, ha sido propuesta una tercera, de acuerdo con el curso temporal del recuerdo. En nuestra experiencia personal diaria hemos sido testigos de la existencia de varios tipos de informaciones, algunas que logramos retener tan solo por períodos cortos de tiempo (como un número telefónico dictado por alguien, una dirección o un nombre) y otras que quedan marcadas en nuestra memoria durante días, semanas, años o incluso durante toda nuestra vida (generalmente se trata de informaciones emocionalmente fuertes, como aquel primer beso o el día en que fuimos robados). El tipo de memoria que almacena informaciones por períodos cortos de tiempo es llamada *memoria de corto plazo* y aquel que permite el almacenamiento por períodos mayores de tiempo se denomina *memoria de largo plazo*. La memoria de largo plazo posee una mayor capacidad que la memoria de corto plazo.

## Hitos en neurobiología acerca de la memoria

Resumir los más importantes resultados en el estudio de la neurobiología de la memoria requeriría de cuando menos tres grandes volúmenes. En el marco del presente documento sólo se propone hacer mención puntual a algunos datos separados, dirigiendo su análisis hacia sus implicaciones sobre psicología.

La búsqueda de los mecanismos cerebrales subyacentes a la memoria llevó a algunos investigadores a seguir las huellas de los recuerdos (engramas), a proponer hipótesis de muy difícil confirmación experimental (como la memoria holográfica) o a descomponer tan detalladamente el proceso, que resulta difícil encontrar lógica para su reconstrucción. De una u otra forma, las grandes corrientes de pensamiento en neurobiología de la memoria han estado y siguen estando inspiradas en las ideas de Donald Hebb (1955). En pocas palabras, Hebb propuso que el aprendizaje sólo sería posible si existiese una simultaneidad temporal del funcionamiento de dos *neuronas* conectadas entre sí, una *presináptica* y otra *postsináptica*. Ese funcionamiento simultáneo permitiría la conformación de circuitos neuronales y sería el factor *sine qua non* para la formación del recuerdo. Desafortunadamente, Hebb carecía de las herramientas tecnológicas que le permitiesen poner a prueba sus ideas.

Fue a partir del descubrimiento del proceso de potenciación a largo plazo de Bliss y Lomo (1973), que vinieron a ser confirmadas empíricamente las hipótesis de Hebb. Brevemente, la potenciación a largo término consiste en el fenómeno mediante el cual la excitación de una neurona presináptica (que normalmente ocasiona una respuesta de una intensidad determinada en una neurona postsináptica) es capaz de ocasionar una respuesta de intensidad mayor como consecuencia de la previa excitación repetitiva. Actualmente se conocen muy detalladamente los mecanismos neuroquímicos subyacentes a este fenómeno. La potenciación a largo plazo descansa sobre el trabajo de un tipo de receptores presentes en la superficie de las membranas externas de las *neuronas postsinápticas hipocámpales*, denominados de N-Metil-D-Aspartato, o simplemente NMDA, a tal grado que existen algunos autores que hablan de la potenciación dependiente de NMDA.

Dignos de mencionar son también los trabajos de Eric Kandel y su grupo sobre el aprendizaje en una especie de molusco: la *Aplysia californica*. Sus resultados demuestran los mecanismos moleculares encargados de aumentar el tiempo de despolarización postsináptica. Experimentos más detallados revelan alteraciones del proceso de formación de aprendizajes tras la interrupción de tales mecanismos neuroquímicos. Los estudios de Kandel ponen de manifiesto la participación de interneuronas moduladoras en el acople funcional entre neuronas sensoriales y motrices, demostrando detalladamente la participación de canales iónicos de potasio y calcio (para una revisión ver Kandel, 1992).

A pesar de aún no haber sido ampliamente divulgados, los trabajos de Tang y colaboradores (casualmente publicados durante el período en que se escribía este documento) ya prometen ser verdaderos clásicos en el estudio de la neurobiología de la memoria, dadas sus implicaciones. Brevemente resumidos, sus experimentos consistieron en la manipulación genética de neuroblastos para incrementar la expresión de una parte del receptor de NMDA responsable, como ya se mencionó, del proceso de potenciación a largo plazo. Los ratones manipulados genéticamente aumentaron la cantidad de receptores de NMDA en sus cerebros. Comportamentalmente estos ratones manifestaron un marcado incremento de la memoria (Tang, et al., 1999). Las implicaciones de estos hallazgos sobre la prevención y el tratamiento de las disfunciones de la memoria son enormes, así como son enormes también las posibilidades de modificación deliberada de embriones, razón por la cual ya están conformándose comisiones de bioética encargadas de estudiar la futura dirección de los descubrimientos.

Los conceptos presentados arriba, en el apartado "*Algunos conceptos básicos*", han sido pieza fundamental en la comprensión de los mecanismos neuronales del proceso de interacción organismo - medio ambiente. Gracias a la integración de disciplinas tales como la psicología, la fisiología, la neuropsicología, la farmacología, la morfología, o la biología molecular, entre otras, podemos actualmente comprender parte del malfuncionamiento de algunos de estos sistemas en patologías tanto de tipo degenerativo (tales como demencias de Alzheimer, Pick o Korsakov), como de tipo traumático, cerebro-vascular o infeccioso. A partir de observaciones detalladas de casos clínicos, estudios post-mortem y de la experimentación con modelos animales, se ha comprobado que el lóbulo temporal está relacionado con las funciones de almacenamiento y recobro de la información. El *lóbulo temporal* es un área cerebral que ha sufrido pocas modificaciones a lo largo del proceso evolutivo de los mamíferos. En su interior existen dos estructuras principales que modulan, sobretodo, los ya mencionados aspectos declarativos de la memoria. Ante una lesión o ante el deterioro de una de estas estructuras, el hipocampo conduce a una pérdida

de la capacidad de almacenar informaciones posteriores a la fecha de la lesión, a pesar de mantenerse el recuerdo de eventos sucedidos antes de la lesión, condición denominada amnesia anterógrada. Al parecer, el *hipocampo* ayuda a seleccionar el lugar en el cual los hechos o las informaciones relevantes deberán ser almacenados, sin ser en sí mismo un depósito para tal información. El reconocimiento de la novedad de una situación, así como la navegación espacial y la modulación de la atención también han sido asociadas a esta estructura.

La otra estructura presente en el lóbulo temporal, *la amígdala*, parece estar involucrada en el cariz o tinte emocional con el cual es matizada toda la información percibida. Las conexiones existentes entre la amígdala y el hipocampo son, en parte, las responsables de que las emociones influyan tan dramáticamente sobre el aprendizaje. Joseph Le Doux, uno de los investigadores interesados en el estudio de la amígdala y su relación con el comportamiento, ha publicado un gran número de trabajos en los que demuestra la naturaleza de las conexiones entre amígdala e hipocampo y el papel de esta estructura en la ejecución de respuestas defensivas que garantizan la vida en situaciones peligrosas (para una revisión ver Le Doux, 1994).

En el extremo anterior del cerebro, dentro del *lóbulo frontal*, existe un área denominada *corteza pre-frontal*, que desempeña también un papel de suma importancia en el aprendizaje. Por haber sido observado que su deterioro conduce a dificultades en tareas de solución de problemas, en el mantenimiento de la atención selectiva y en el planeamiento del comportamiento, es común escuchar que personalidad (término que podría ser rápidamente definido como la reacción característica de cada sujeto ante una determinada situación y que depende fundamentalmente de la historia personal) y voluntad (o autodireccionamiento, o toma de decisiones) son dos de las funciones de esta corteza pre-frontal. De hecho, no sería exagerado afirmar que lo que de humano existe en un cerebro humano, depende básicamente del adecuado funcionamiento de la corteza pre-frontal.

Al lado de estas consideraciones tradicionales, puede ser de utilidad reflexionar sobre el papel desempeñado por las algunas otras regiones cerebrales. Un ejemplo podría ser el análisis del papel de las áreas sensoriales y motrices primarias en sí mismas. Un sistema sensorial complejo puede ser definido como un grupo de elementos capaces de recibir una información ambiental, (receptores sensoriales), transducirla en impulsos nerviosos (proceso de transducción), transmitir estos impulsos hacia otras regiones (a través de neuronas sensoriales aferentes) y ocasionar modificaciones del estado de actividad de los elementos con los cual establece conexión. La actividad neuronal generada en aquella población neuronal da inicio a actividad en otros puntos del sistema y puede originar, finalmente, algún tipo de respuesta motriz, cognoscitiva, endocrina o inmune.

Si alguien estuviese aprendiendo a escribir un determinado símbolo en respuesta a un sonido específico, el proceso puede esquematizarse de la siguiente forma: el sonido activa los receptores auditivos periféricos, los cuales, luego de transducir la información auditiva en señales nerviosas, excitan a las neuronas sensoriales cuya función es transmitir esos patrones de actividad nerviosa (utilizando cuando menos dos estaciones de relevo), hacia la corteza auditiva (punto A). La activación de las neuronas allí encontradas iniciará actividades en otros grupos de neuronas con ellas conectados (áreas auditivas secundarias y de integración polimodal). La actividad iniciada en estos circuitos neuronales inducirá actividad en otros circuitos, cuya excitación representará, finalmente, el inicio del acto motor (punto B). Cualquier alteración del funcionamiento de los puntos A o B, o de los circuitos neuronales entre los dos ocasionará una alteración de la relación sonido escuchado - escritura. En líneas generales, la memoria de tipo procedimental depende del adecuado funcionamiento de los sistemas de reconocimiento sensorial y de la ejecución motriz.

Alteraciones de los sistemas de reconocimiento debidas a una causa distinta de la demencia y de la ausencia de percepción, son denominadas en conjunto *agnosias*. La agnosia, vista desde esta óptica, corresponde a la manifestación cognoscitiva de una alteración de un proceso de memoria. La existencia de agnosias asociadas a los sistemas sensoriales básicos, tales como agnosias visuales, táctiles o auditivas y las asociadas a sistemas de procesamiento complejo, tales como prosopagnosias, anosognosias o heminegligencias contralaterales, muestran que es plausible suponer tipos muy elaborados de recuerdos, descansando sobre interconexiones neuronales muy especializadas. Un análisis más detallado de esta área escapa de los objetivos de este artículo.

Volviendo a las relaciones entre sistemas sensoriales y sistemas de ejecución motriz, debe decirse todavía que, además de tales conexiones vía corteza, existen otras vías de procesamiento paralelas que permiten que regiones subcorticales (como hipocampo, séptum o cerebelo, entre otras) se activen también. De tal manera, es comprensible que el trabajo del hipocampo como mediador de la organización del recuerdo, sólo sea posible gracias a la perfecta sincronía de los procesos corticales con los subcorticales. En el caso de la amnesia anterógrada (caracterizada por pérdida de esta sincronización entre los componentes corticales e hipocampales)

existe ausencia de recuerdo a pesar de mantenerse una adecuada percepción y una adecuada relación entrada sensorial - respuesta; de hecho, el paciente con amnesia anterógrada aprende secuencias motrices a pesar de no recordar cuándo o cómo hizo para aprenderlas. La imposibilidad de cambiar una respuesta ya aprendida ante un estímulo por otra nueva, derivaría de la imposibilidad de utilizar los circuitos neuronales empleados en antiguas relaciones entrada sensorial - respuesta para la formación de nuevas relaciones. Se puede concluir de lo anterior, que algunas formas de aprendizaje dependen de la adecuada capacidad para olvidar antiguas relaciones.

La disección anterior es didácticamente aceptable, pero empíricamente improbable. El cerebro presenta un panorama de altísima complejidad, en el cual todo estímulo es percibido de forma simultánea por varios canales sensoriales, dando lugar a actividades diferenciales en paralelo en distintas regiones, tanto corticales como subcorticales. Piénsese en memorizar una manzana. Peso, textura, temperatura, color, olor son algunas de las informaciones que ayudan a formar el recuerdo de la manzana. Cada una de estas sensaciones está iniciando cascadas de procesos similares a los ya descritos en diversas áreas corticales, sumando sus efectos en algunas áreas subcorticales, o anulando parcialmente los efectos de los otros estímulos. Un cerebro podría ser visualizado como una extensa e inestable matriz tridimensional sobre la cual, constantemente están ocurriendo rápidas modificaciones debidas a impulsos nerviosos que desean adquirir relevancia, minimizando la importancia de otros, incrementando el funcionamiento de redes neuronales ya establecidas, creando nuevas rutas para la información o transfiriendo la función de determinados circuitos. El panorama es aún más complejo si se tienen en cuenta la dinámica temporal de la actividad nerviosa y el proceso constante de muerte neuronal que implica la reorganización funcional de los recuerdos, debida tanto al establecimiento de nuevas conexiones sinápticas como a la neurogénesis adulta constante, recientemente demostrada. Por tanto, en un sistema nervioso la memoria no está localizada en una estructura separada, o en una serie de estructuras aisladas. La memoria no ocupa un único lugar físico en el cerebro, es una función integrada de circuitos neuronales. Su formación, su almacenamiento y su evocación, dependen del trabajo mancomunado, simultáneo y secuencial de varios sistemas cerebrales.

Una aproximación más detallada a la arquitectura de la corteza cerebral puede brindar elementos complementarios al concepto de memoria. Las neuronas que constituyen las áreas sensoriales primarias en la corteza cerebral (y probablemente también las de las áreas de integración polimodal) se organizan de forma parecida a una colmena. Esta disposición ha sido llamada de *columnas funcionales*. Tal organización en columnas, descrita en las áreas somatosensoriales primarias de varias modalidades sensoriales en diversas especies (para una descripción más detallada ver Mountcastle, 1957 y Woosley, 1970), podría ser la llave para la explicación de cómo son almacenados los recuerdos. Si a un gato se le realiza un registro del funcionamiento eléctrico de su corteza visual mientras se le presentan estímulos visuales, se observará que existen algunas columnas que se activan preferencialmente ante la presencia de líneas horizontales, en tanto que otras lo harán, preferencialmente, ante las líneas verticales, otras solamente ante las líneas inclinadas, por ejemplo, a 52 o 37 grados y en movimiento de derecha a izquierda, etc. Ciertas características de la información visual percibida activan de forma asombrosamente selectiva determinadas columnas corticales. La activación de las neuronas de estas columnas en el área visual primaria ocasiona actividad subsiguiente en áreas adyacentes denominadas secundarias. El fenómeno de cascada así iniciado activa áreas más distantes ocasionando, entre otras cosas, el reconocimiento de patrones. Esa es la forma en que se reconoce si un objeto ya ha sido visto antes o no, o si ha variado su color o posición en el espacio.

De la misma forma, las columnas de representación de las *vibrisas mistaciales* en la corteza somatosensorial de los roedores, permiten niveles de especificidad funcional semejantes. Para cada una de las vibrisas existe una de tales columnas. Mover una vibrisa conduce a la aparición de un potencial eléctrico en la columna cortical asociado con la vibrisa tocada. De esta manera se forman verdaderos mapas corticales del hocico. Estudios experimentales demuestran que estos mapas no son estáticos, sino que, por el contrario, pueden variar, dependiendo de modificaciones de los receptores periféricos. La remoción de las vibrisas conduce a alteraciones de la topografía de los mapas; cortar una vibrisa hace que las áreas de representación de las vibrisas adyacentes aumenten. En forma general ha sido demostrado que el funcionamiento de todas las áreas corticales (y de gran parte de las subcorticales) de recepción sensorial y de control motor sigue los mismos principios. Además, se sabe que en todas las áreas ocurren constantemente procesos similares de reorganización de circuitos neuronales como consecuencia de la experiencia. Resulta de particular importancia el hecho de que una de las formas en las que los roedores pueden identificar (mediante el uso de las vibrisas) el grado de novedad de sus ambientes, es a través de la comparación de los estímulos percibidos en el momento con los mapas cognoscitivos previamente elaborados. Desde esta óptica, el almacenamiento de las características de los estímulos puede ser entendido como el resultado de la activación sincrónica y secuencial de determinados grupos de columnas corticales. Por tanto, cada cerebro posee una forma particular y única de recordar las características de los estímulos percibidos por sus órganos sensoriales.

## Proyecciones

Estudios a un nivel aún más minucioso han trazado nuevas rutas para el estudio de las modificaciones neuronales consecuentes al aprendizaje y a la experiencia y se prevé que, debido al advenimiento de la nanotecnología, los niveles de análisis alcancen dentro de poco una magnitud atómica. Mientras la tecnología va perfeccionándose para permitir tales niveles de análisis, vale mencionar algunos proyectos de investigación científica actualmente en desarrollo dentro de la neurociencia. Dentro de ellos existen dos que parecen estar despertando el mayor interés de la comunidad científica, principalmente en vista de sus potenciales aplicaciones futuras. El primero hace referencia a las relaciones entre experiencia y modificaciones en la expresión génica de las neuronas activadas. Determinados genes, dentro neuronas que fueron recientemente excitadas, entran en un proceso de actividad tan solo minutos después de finalizada aquella excitación. Genes similares dentro de neuronas que no fueron recientemente excitadas, permanecen inactivos. Esta instantánea de la actividad génica selectiva permite no sólo establecer cuáles fueron las poblaciones neuronales responsables por determinadas actividades, sino también establecer jerarquías temporales del funcionamiento de tales poblaciones. Dentro de las mismas neuronas otros genes pueden ser puestos en acción, bien como resultado de la actividad de los arriba mencionados, o bien, debido a otros procesos intracelulares igualmente dependientes de la actividad neuronal. La activación de tales genes conduce a la formación subsiguiente de proteínas cuyas funciones pueden ir desde la reparación de la membrana citoplasmática, hasta la formación de nuevos receptores para neurotransmisores o vesículas sinápticas para el almacenamiento de los mismos. De tal forma, la memoria estaría celularmente definida por modificaciones dinámicas de la conformación celular, y alteraciones de este proceso normal de modificación estructural acarrearían alteraciones en la funcionalidad de la neurona.

Dentro de la misma esfera se incluye el aporte de la *ingeniería genética*. El abordaje de la enfermedad de Alzheimer es uno de los bastiones de esta línea de trabajo. Desde esta perspectiva, el aislamiento de los genes responsables por la producción y la acumulación de la proteína amiloidea y la creación de cepas transgénicas es una de las líneas de trabajo más avanzadas. Los trabajos de Tang y colaboradores, mencionados arriba, pueden ser incluidos dentro de esta misma área. Considerando el desarrollo asintótico del conocimiento en genética, impulsado en gran medida por el proyecto genoma, no es descabellado suponer que en un futuro cercano el diagnóstico y tratamiento embrionario o pre-embrionario de patologías de origen génico, tales como enfermedad de Alzheimer, síndrome de Down, etc., sea corriente.

El segundo proyecto de investigación de gran impacto es el estudio de los *mecanismos de origen y regeneración neuronal*. Dentro de esta esfera, las posibilidades de trasplantes (o mejor, implantes) neuronales, como herramienta en el tratamiento de las enfermedades causadas por degeneración neuronal, parece ser una de las áreas de mayor futuro. También, casualmente durante el tiempo en que se escribía este artículo, ha sido anunciado públicamente el éxito de trasplantes neuronales en ratas con pérdida de neuronas colinérgicas. Dicho de otra forma, se ha abierto la puerta al estudio del trasplante neuronal para el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer. Posiblemente no esté lejano el tiempo en el que el implante de neuroblastos sea la solución de primera mano para el tratamiento de la lesión cerebral, sin importar si es traumática, degenerativa, infecciosa o cerebro-vascular. Incluso el mismo proceso normal de envejecimiento podría ser frenado o detenido totalmente mediante el implante neuronal. Quizá una situación algo similar a la cirugía estética.

Dentro del marco de la construcción de teorías, un aspecto sobre el cual aún existe un gran debate y que con toda seguridad merece una revisión detallada, corresponde a la determinación de la naturaleza del olvido. Siguiendo una óptica tradicional, se ha pensado que el olvido es una pérdida de los conocimientos ya almacenados. Desde esta perspectiva, el olvido sería un proceso pasivo en el cual las huellas dejadas por la experiencia simplemente van desapareciendo como consecuencia de la muerte neuronal o de la desintegración (anatómica o funcional) de sinapsis. Sin embargo, actualmente existen evidencias de que el olvido corresponde mejor a un proceso activo. En la raíz de este proceso podría establecerse al menos uno de los siguientes dos fenómenos: o bien, los circuitos neuronales antes utilizados en el relevo de información entre dos o más puntos son colocados al servicio de otros puntos, o bien, el peso relativo de la actividad de algunos de tales circuitos de paso disminuye, en tanto que aumenta la relevancia relativa de otros. En cualquiera de estos dos casos, sería cierta la afirmación de que no se olvida, se aprende a borrar el recuerdo.

Una de las implicaciones de esta visión, en la cual aprender requiere olvidar, es la disociación entre memoria y aprendizaje. Comúnmente los dos términos son considerados sinónimos, sin embargo, existen situaciones en las que perfeccionamientos de la memoria pueden llegar a damnificar el aprendizaje. Un ejemplo de esta disociación es el caso de una rata que, cuando colocada en una determinada situación aprende a no moverse para así evitar un estímulo aversivo. Si luego de este ensayo se le aplica intracerebralmente una pequeña cantidad de vasopresina (también conocida como hormona antidiurética), o de sustancia neuropeptídica P (sustancias

estas que aumentan la fijación de la memoria), se encontrará que 24 horas después de la inyección, en un segundo ensayo en el cual se invierte el criterio (es decir, ahora se requiere de la realización de cualquier movimiento para evitar el estímulo aversivo) la rata tendrá muchas dificultades para aprender la nueva regla. De alguna forma quedó anclada en el pasado y no consigue olvidar, incluso si la persistencia de ese recuerdo es castigada. Este caso ilustra un ejemplo de memoria 10, aprendizaje 0.

A partir de las consideraciones expuestas a lo largo de este artículo es posible extraer algunas ideas principales que pueden ser de ayuda para el delineamiento de nuevas formas de acercamiento teórico al estudio de la memoria. En primer lugar, conviene resaltar el hecho, frecuentemente olvidado, de que los sistemas nerviosos (al igual que cualquier otro sistema biológico) son por definición sistemas dinámicos, en los cuales la funcionalidad en un momento determinado depende de la conjugación del estado presente y los estados anteriores del sistema. Uno de los responsables de tal dinamismo es el proceso constante de muerte neuronal. Piénsese, por ejemplo, que un cerebro de 75 - 80 años cuenta sólo con un 20% del número total de neuronas con que nació. Sin embargo, la muerte neuronal natural no implica pérdidas equiparables de las capacidades, por el contrario, a medida que los animales van avanzando en edad, van siendo más eficientes en la resolución de problemas. La única forma de explicar satisfactoriamente esto es asumir que nuevas conexiones sinápticas son formadas constantemente y que su función es la de mantener, modificar o reemplazar las relaciones ya adquiridas. Dicho de otra forma, los animales solo podemos aprender debido a que nuestra vida es un constante morir. Esta flexibilidad nos permite reorganizar los aprendizajes, expandir las categorías de almacenamiento de información, alcanzar niveles elevados de complejidad y, en fin, poseer vastos universos conceptuales.

Una segunda idea importante, también a menudo olvidada, surge del hecho de que nuestros recuerdos son actividad cerebral. Tradicionalmente se asume que sólo aquello que pasó por los sentidos es susceptible de ser memorizado. Sin embargo, una visión más amplia de la neurofisiología del proceso perceptual nos permite entender que, independientemente de la existencia de perceptos (unidades perceptuales externas), lo que realmente hace la percepción es el tránsito de impulsos nerviosos a lo largo de las diferentes áreas del sistema nervioso. Hipotéticamente, si pudiésemos imitar o simular la sincronía, secuenciación y simultaneidad de funcionamiento en las diversas regiones del sistema nervioso, estaríamos llevando al poseedor de ese sistema nervioso a tener la ilusión de un encuentro real con el mundo material. La realidad virtual actual es un tosco ejemplo de tal tipo de experimento hipotético. Yendo un poco más a fondo surge la pregunta: ¿cuál sería la diferencia entre este tipo de experiencia y la percepción de la realidad material del universo? Sin duda, la respuesta es: ninguna. No puede ser diferente, pues toda percepción real activaría exactamente las mismas vías que en nuestro experimento hipotético estarían siendo excitadas. Quizá solo una cosa varíe: los efectos nocivos que algunas percepciones reales pueden llegar a ejercer sobre el sistema biológico. Los recuerdos de situaciones reales serían totalmente indistinguibles de los recuerdos obtenidos por medio de este tipo de experiencia. Naturalmente, esta forma de aprender sin experiencia, por depender de tecnologías prácticamente imposibles (de tipo máquinas de Turing), es totalmente hipotética. Como corolario, la memoria no depende de los estímulos externos, sólo es mediada por ellos; en sentido estricto, la memoria sólo depende del trabajo orquestado del mismo cerebro, resonando con la realidad material, cuya única función sería modular su actividad intrínseca.

La tercera y última idea por ser explicitada se relaciona con el *origen génico de la memoria*. Modificaciones de la configuración génica de las neuronas inducen cambios de forma, metabolismo, funcionamiento e incluso resistencia a factores adversos. Estas características definen directamente el papel jugado por cada neurona dentro del circuito (o circuitos) de los que forma parte. Procedimientos que alteren tales estipulaciones génicas alterarán, consecuentemente, el funcionamiento de dicha neurona, mejorando o deteriorando la funcionalidad general del circuito.

Para terminar, sólo resta decir que el futuro de las inteligencias artificiales y de las formas alternativas de consciencia (circuitos lógicos, lógicas fuzzy, etc.) dependerá de la exactitud del conocimiento que del cerebro y sus procesos alcancemos a poseer. Las memorias no biológicas sólo obtendrán la flexibilidad y versatilidad de las biológicas cuando comprendamos a cabalidad la estructura de esa matriz inestable que es la memoria biológica.

## Referencias

Bliss, T. V. P. y Lomo, T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *Journal of Physiology (London)*, 232: 331-356.

Hebb, D. O. (1955). Drives and the C. N. S. (Conceptual Nervous System). *Psychological Review*, 62: 243-254.

Kandel, E. R. Cellular mechanisms of learning and the biological basis of individuality. En: Kandel, E. R., Schwartz, J. H. y Jessell, T. M., (Eds.) (1992). *Principles of Neural Science (3th. ed.)*. New Jersey: Apretón & Lange.

Le Doux, J. E. (1994). Emoción, memoria y cerebro. *Investigación y Ciencia*, 215: 38-45.

Mountcastle, V. B. (1957). Modality and topographic properties of single neurons of cat's somatic sensory cortex. *Journal of Neurophysiology*, 20: 408-434.

Tang, Y. P., Shimizu, E., Dube, G. R., Rampon, C., Kerchner, G. A. Zhuo, M., Liu, G. y Tsien, J. Z., (1999). Genetic enhancement of learning and memory in mice. *Nature*, 401: 63-69.

Woosley, T. A. y van der Loos, H. (1970). The structural organization of layer IV in the somatosensory regio [S1] of mouse cerebral cortex. The descripiton of a cortical field composed of discrete cytoarchitectonic units. *Brain Research*, 17: 205-242.