

Revisión

Reflexiones sobre ¿qué parte específica del cerebro se almacena la memoria?

Jorge Eduardo Duque Parra^{1*}, Jhonatan Duque Colorado^{1,2,3}, Lukas Quintero Jurado^{4,5}, Juan Camilo Duque Ramírez⁶

1. Grupo Neurociencia de Caldas. Programa de Medicina. Universidad de Caldas, Colombia.
2. Universidad de La Frontera, Facultad de Medicina. Programa de Doctorado en Ciencias Morfológicas, Temuco, Chile.
3. Universidad de La Frontera, Facultad de Medicina. Centro de Excelencia en Estudios Morfológicos y Quirúrgicos (CEMyQ), Temuco, Chile.
4. Universidad Católica del Norte. Programa de Psicología. Facultad de humanidades y ciencias eclesíásticas.
5. Universidad Católica de Pereira. Licenciatura en educación Religiosa. Facultad de Ciencias Humanas, Sociales y de la Educación.
6. Programa de Fisioterapia. Universidad Autónoma de Manizales, Manizales, Colombia.

***Autor para correspondencia:**

Jorge Eduardo Duque Parra

@ jorge.duque_p@ucaldas.edu.co

RESUMEN

La memoria fundamentalmente es la consolidación de información que usa el sistema nervioso central para predecir eventos y poder afrontar apropiadamente los variados eventos epigenéticos y así generar expectativas a partir de experiencias pasadas, pudiendo enfrentar el sistema externo cambiante. La memoria no se almacena en ninguna región particular del sistema nervioso central, pero se debe a la interacción neuroquímica y producción de potenciales de acción de variadas células del linaje nervioso y su conectoma, que participan intensamente en el procesamiento de ese estado dinámico cambiante de continuo, con el que se crea de novo momento a momento, lo que llamamos memoria.

Palabras clave: cerebro, conectoma, memoria.

ABSTRACT

Memory is essentially the consolidation of information used by the central nervous system to predict events and respond appropriately to various epigenetic events, thereby generating expectations based on past experiences and enabling the system to cope with a changing external environment. Memory is not stored in any particular region of the central nervous system, but is due to the neurochemical

interaction and production of action potentials of various cells of the nervous lineage and their connectome, which are intensely involved in the processing of this continuously changing dynamic state, creating what we call memory from moment to moment.

Keywords: brain, connectome, memory.

INTRODUCCIÓN

No es raro escuchar a los profesionales en informática hablar del cerebro como el gran computador, pues se escuchan comentarios como: cambie de chip, me falta más memoria RAM para recordar más números telefónicos u otras cosas por el estilo, sin embargo, pocos se aventuran a describir la mente como un computador (Martínez & Fornaguera, 1998), pues entre otros, nuestro cerebro (Figura 1) no sufre una especie de encendido cada vez que desarrolla actividad, como si tuviera unas porciones activadas y otras desactivadas, ya que todos sus componentes, siempre están en acción, incluso cuando estamos en descanso. En igual sentido, el cerebro tampoco tiene almacenes de recuerdos que están cerrados y en otros momentos abiertos, como si fueran archivos de un computador o en una unidad estándar para conectar y transferir datos entre computadores y dispositivos periféricos -USB- o páginas de un libro, para recuperarlos en cualquier momento.



Figura 1. Encéfalo humano –fijado con formalina- centro global que construye la memoria. La parte girificada corresponde al cerebro, la menor compactada en folias es el cerebelo y la parte entre ellas el tronco encefálico, con origen aparente de varios nervios craneales. A (Anterior), P (posterior).

Estas ideas manifestadas por muchos, son más bien metáforas derivadas de creencias sobre el encéfalo y particularmente sobre el cerebro, ideas que hoy se pueden considerar obsoletas, así como se puede pensar como analogía, que una colmena –cerebro - es holísticamente el lugar donde se guarda naturalmente miel –información-, desconociendo que más bien el cerebro es una red de laberintos conectados, similares a las conexiones cooperativas entre las neuronas gobernadas por estas y que desafortunadamente, sus conexiones neuronales humanas aún no están mapeadas (**Hegedűs & Grolmusz, 2024**) –el conectoma- del todo, y que trabajan conectadas para múltiples funciones necesarias – en el caso de las abejas para producir la miel manteniendo la integridad de dicha comunidad para la reproducción, enjambrar, fugarse, reemplazar reinas, migrar, usurpar colonias, producir zánganos, emplear su comportamiento defensivo, producir resistencia a enfermedades y forrajear de polen (**Payró-de la Cruz et al., 2023**) y en el nuestro, producir ideas, generar percepciones, activar procesos salutogénicos y activar conductas variadas. Por lo tanto, aunque el cerebro genera las ideas y participa de la memoria, este último proceso requiere de múltiples factores y no se ubica en un lugar en particular, pues la memoria no es una facultad unitaria, sino que se compone de sistemas múltiples, cada uno con neuroanatomía propia (**Ambrose, 2011**). Se trata de un cerebro –como la colmena-, pero está constituido por múltiples unidades: unos 85 mil millones de neuronas (**Duque Colorado et al., 2024**) –las abejas- que sinaptadas y vinculadas armónicamente con las sinneuronas –las tradicionales células gliales- generan nuestras múltiples conductas (**Duque Parra, 2023**). De estas últimas células, se sabe que los astrocitos –el tipo más abundante de ellas-, desempeñan un papel fundamental en la memoria, aunque si bien la mayoría de las sinapsis hipocámpales son contactadas por un astrocito, actualmente no existen teorías que expliquen cómo las neuronas, las sinapsis y los astrocitos podrían contribuir colectivamente a la función de dicha memoria, pues se han demostrado aspectos fundamentales de la morfología y la fisiología de los astrocitos para conducir naturalmente un sistema de memoria asociativa dinámico y de alta capacidad (**Kozachkov et al., 2025**). Con este tipo de modelos, se sugiere la posibilidad que los recuerdos podrían “almacenarse”, al menos en parte, dentro de la red de procesos de los astrocitos en lugar de únicamente en las sinapsis entre las neuronas (**Kozachkov et al., 2025**) y no solamente recibiendo información aferente y enviando eferentes, que inciden en el mundo extracorpóreo, sino también comparando predicciones generadas internamente con base en información previa. Además, que, formulando expectativas a partir de experiencias pasadas, proceso que exige sistemas con vínculos con poblaciones neuronales dedicadas a generar hipótesis sobre futuros eventos motores y sensoriales durante el procesamiento de la información (**Duque Parra & Mendoza, 2025**) –la fabricación de la miel de la colmena-. Se extrae con ello, que el cerebro es una especie de procesador neurobiológico que realiza inferencias para la predicción, siendo capaz de anticipar resultados futuros y preparar respuestas eficientes ante dichos estímulos (**Duque Parra & Mendoza, 2025**) desde varios sectores del cerebro mismo y generar la memoria, pues cada momento de la vida mental está basado en producirla, una memoria que es transitoria y dependiente de las circunstancias. Esto concuerda con que cuando se aprende algo, para de alguna manera codificar la experiencia en nuestro conectoma y poder recordar, se debe modificar el propio cableado.

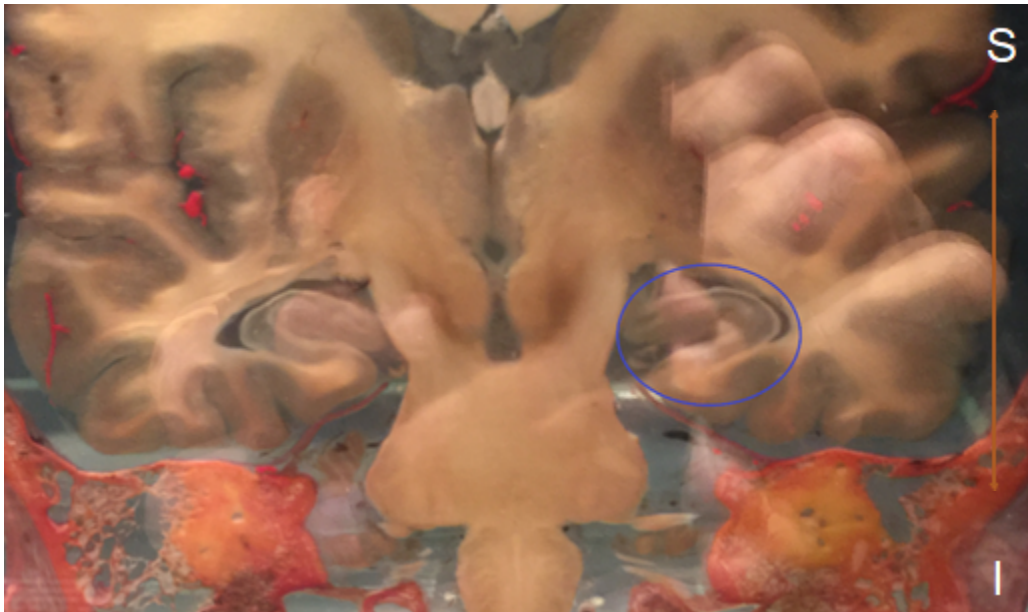


Figura 2. Hipocampus humanos vistos en corte coronal a nivel de los lobos temporales –en un lado rodeado de un círculo azul-, unos de los variados lugares que participan en la memoria.

De esta manera, memorizar requiere de mecanismos neurofisiológicos al menos en los metazoarios, para reconstruir información según se necesite, empleando potenciales de acción y metabolizando múltiples sustancias químicas, en especial neurotransmisores, aunque las experiencias estresantes y emocionalmente estimulantes, activan además los sistemas hormonales que generan recuerdos intensos, implicando la acción sinérgica de la noradrenalina y los glucocorticoides; estos ejercen efectos opuestos sobre la precisión y la generalización de la memoria a través de efectos distintos en los procesos de consolidación de sistemas que subyacen a la reorganización temporal de la memoria (Bahtiyar et al., 2020). De esta forma el encéfalo no almacena los recuerdos como los archivos de un computador o como en las páginas impresas de un libro, o en un dispositivo USB, o en un disco compacto, porque el almacenaje de información que usualmente concebimos, puede hacerse en muchos modos –marcas en un papel, surcos en un disco de cera, agujeros en un cartón- o cómo lo hace la naturaleza, utilizando un código de estructuras moleculares como llaves, con lo que vivimos por tanto en una especie de “reencarnación” continua (Clarke, 1966) debido la incesante dinámica habitual de las células nerviosas vivas.

La noradrenalina mejora la precisión de la memoria al potenciar la conectividad basolateral entre el complejo amigdalóide y el hipocampo, creando recuerdos episódicos (Figura 2); por el contrario, los glucocorticoides contribuyen a la generalización de la memoria al promover la integración de nuevos recuerdos en las redes corticales, lo que disminuye la dependencia hipocámpal (Bahtiyar et al., 2020). Llamamos a este proceso remembranza, pero en realidad se trata más bien de un ensamblaje (Feldman

Barrett, 2021). Otros argumentan, más formalmente sobre la memoria, que los cálculos para ella, tienen lugar dentro de las células cerebrales, realizados por neuroquímica intracelular, la cual opera sobre información en la maquinaria molecular intrínseca celular, con lo que el cerebro tiene que buscar modos de conservar la información empleando elementos neuroquímicos, evocando recuerdos que pueden volverse menos precisos, pues su evocación repetida conduce a desequilibrios entre el recuerdo y la reconstrucción. Lo anterior concuerda con que los falsos recuerdos muestran que esto puede suceder y las personas podrían afirmar que tienen recuerdos vivos, a veces de hechos traumáticos, que resultan ser invenciones inconscientes (**Turney, 2018**). El objetivo del presente trabajo es argumentar que la memoria no se encuentra en un lugar o lugares particulares del encéfalo, sino que es un continuo de construcciones de información por engranajes moleculares, neuronales y sinneuronales –gliales- y de conectoma, dados por la acción epigenética.

DISCUSIÓN

¿Qué es la memoria?

La memoria es definida como el almacenamiento y uso de información aprendida en el encéfalo, necesaria para modular el comportamiento y crucial para la adaptación al entorno y sobrevivir (**Ortega-de San Luis & Ryan, 2022**), para otros, es una función fundamental de muchos sistemas vivos que permite al menos a los humanos, retener un historial de experiencias pasadas como guía de interacciones futuras con el mundo, tomando como base el pasado que indica qué se debe evitar y qué podría valer la pena en un entorno en constante cambio. Logrado esto, se regulan con flexibilidad los recuerdos que se forman constantemente a medida que se tienen nuevas experiencias y se filtran para determinar cuáles se deben “guardar”, qué recuerdos pasados podrían estar obsoletos y, por lo tanto, actualizarse; también, cuáles olvidarse, pues se usan los recuerdos para informar la forma en que se aprende para el futuro (**Zaki & Cai, 2024**). Una teoría ampliamente aceptada, sostiene que un engrama -huella de memoria- se forma por un grupo de neuronas activas durante el aprendizaje, experimentando cambios bioquímicos y físicos para de alguna manera, “almacenar” la información en un estado relativamente estable y, posteriormente reactivarse durante la evocación, más, resaltando que la formación de la memoria en esencia es a nivel molecular y celular (**Ortega-de San Luis & Ryan, 2022**) en el sistema nervioso, empleando conectomas particulares para acceder a dichos recuerdos, involucrando la comprensión de cómo el cerebro los codifica y cómo puede conducir a nuevas ideas, maximizando la retención a largo plazo de información. Además, existen múltiples sistemas de memoria con diferentes funciones en el recuerdo consciente de la propia experiencia de eventos y hechos, además de recuerdos vinculados a respuestas emocionales (**Zaki & Cai, 2024**). Los recuerdos también se clasifican según el tiempo: desde la memoria a corto plazo que dura solo segundos o minutos, hasta la memoria a largo plazo que dura meses o años. Debe aclararse primero que cada sistema de memoria tiene una organización neuroanatómica distinta, donde se reclutan en diferentes partes del encéfalo, constituidos en propiedades dinámicas de poblaciones neuronales –y sinneuronales-, además que sus interconexiones, para que los recuerdos se den en nuestro encéfalo, por lo que se requieren de cambios químicos a nivel neuronal (**Robertson, 2002**) y sinneural. Si no fuera así, ¿cómo podría permanecer la memoria en un organismo viviente, mientras las múltiples proteínas frecuentemente se destruyen o se añaden? (**Ursúa, 1993**). Ya numerosos estudios han demostrado que los recuerdos se codifican en

conjuntos neuronales dispersos distribuidos por el encéfalo (Maingret et al, 2016) y durante el período posterior a la codificación, a menudo durante el sueño, muchas de conjuntos de neuronas del engrama de memoria, representan de forma estable un recuerdo específico, pues estuvieron activas durante la codificación, reactivándose, lo que favorece la consolidación de este recuerdo (Wang et al., 2014). También durante la evocación, muchas de las mismas células que estuvieron activas durante la codificación, se reactivan durante la consolidación y se reactivan durante la evocación. Sin embargo, estudios recientes cuestionan la rigidez del "engrama de memoria estable", destacando que recuerdos estables y sus representaciones, son mucho más dinámicos y flexibles de lo que se creía (Zaki & Cai, 2024).

¿Dónde se almacena la memoria?

La formación de una memoria comienza durante una experiencia, cuando se tiene una vivencia novedosa, como la exploración de un entorno nuevo; en ese momento, subpoblaciones de neuronas están activas en múltiples partes del cerebro (Zaki & Cai, 2024), no como consideró muchos años atrás Nemesio de Emesa (420-350) al formular la teoría que en el tercer ventrículo se situaba la memoria y se almacenaban las percepciones (Borges Guerra et al., 1999) o más recientemente cuando Wilder Penfield (1891-1976) sugirió en trabajos electrofisiológicos, que era en el lobo temporal (Rahul Kumar & Yeragani, 2011). De allí que la memoria no se vincula con un único sector cerebral, pues se activan redes neuronales para múltiples procesos de memorización. No es la memoria el resultado de cambios en regiones cerebrales específicas, sino más bien el resultado de cambios colectivos en la conectividad entre múltiples regiones de la red neuronal, como con el recuerdo del miedo, para el cual se encuentra bien posicionado el complejo amigdalóide, pero modulado por otras regiones, lo que indica que los sistemas neuronales que subyacen a los recuerdos de miedo leves e intensos difieren (Haubrich & Nader, 2023). Y ¿cómo codifica el encéfalo los acontecimientos, de suerte que pueda almacenarlos, compararlos y recordarlos? Requiriendo de un código que subyazca a todo el proceso de datos del cerebro.

Hace más de medio siglo se pensaba que el recuerdo de escenas del pasado se operaba por un cierto estímulo -destello, sonido o sabor- desencadenando un mecanismo de memoria a corto plazo, que buscaba en un "archivo" de hologramas, lo que mejor encajara, y cuando encontraba alguna asociación, la atención se centraba sobre uno u otro detalle. Penfield al respecto indicó, que cuando normalmente un humano intenta recuperar algo de su pasado, recordaba solamente generalizaciones, pues si no fuera así, podría perderse fácilmente irremisiblemente en detalles, entonces ¿Cómo olvida la gente? (Pines, 1973).

Para la memoria, las configuraciones establecidas forman parte de vastas redes neuronales que comprenden un mosaico de centros cerebrales cooperantes, estas configuraciones dinámicas de actividad neuronal en redes que atraviesan diferentes estructuras del cerebro como la corteza cerebral, permiten codificar aspectos varios de un recuerdo en asociación con el hipocampo (Rolls, 2022), donde se verifica una potenciación a largo plazo, propiedad sináptica modificable que puede reforzarse tras breves e intensas descargas neuronales y permanecer modificadas durante semanas, meses y años, dejando rastro en las redes neuronales activadas. En función del grado de activación durante el aprendizaje, ciertas neuronas se refuerzan, otras se debilitan y nuevos contactos sinápticos surgen, y en la consolidación, participa la maquinaria bioquímica neuronal-sin neuronal que puede durar varias horas

o días, para formar un recuerdo duradero fácil de reactivar, dependiendo de estímulos que así lo permitan. Para ello, la calmodulina quinasa II, se activa por el calcio y fosforila pronto tras el aprendizaje, implicando cascadas de quinasas que actúan en las sinapsis y envían señal al núcleo neuronal, logrado por genes, redes neuronales y mecanismos moleculares que participan en modificaciones perdurables de estas redes –conectoma- para la formación de la memoria (Ghost & Giese, 2015). No debemos por lo tanto pensar más en la memoria como un elemento fijo que se puede “sacar” y después “introducir en un sitio” de forma intacta, tras cada uso, sino más bien, como algo dinámico y susceptible de cambio tras cada evocación (Laroche, 2010). ¿Por qué estas notas?, pues porque solemos pensar que la memoria queda almacenada en el hipocampo, como responsable de la creación de recuerdos de largo plazo y su almacenamiento se daría en otra región del córtex (Smart, 2014), o que el lenguaje que aprendemos y empleamos está almacenado en el hemisferio izquierdo del cerebro (Drucker, 2014). Es que los recuerdos se “almacenan” más particularmente en secuencias de proteínas, en neuronas o sinapsis nuevas, o en cambios en la fortaleza de las sinapsis existentes, pues las proteínas se envejecen y cambian, por lo que valen los interrogantes de cuando alguien aprende una nueva habilidad, ¿esta se almacena sólo en los órganos dedicados a aprender habilidades locomotoras -como el cerebelo y los núcleos basales-, o ajusta también la corteza cerebral? o, ¿un aumento de la destreza depende de usar más centímetros cuadrados de corteza cerebral, que usar una mayor concentración de sinapsis en la misma cantidad de centímetros cuadrados? problemas científicos importantes (Pinker, 2018) muy pertinentes. Evidencia de que los mecanismos específicos de asignación de memoria, son los cambios en la proteína de unión al elemento de respuesta al AMP cíclico –CREB- y la excitabilidad intrínseca, que aseguran un “almacenamiento” de la memoria para facilitar la recuperación y la vinculación efectivas en un momento posterior (Sehgal et al., 2018) vinculando esta importante molécula, pero los neurocientíficos involucran lugares de “almacenamiento”, a lo cual podrían indicar: se “almacena” en las neuronas-glía, lo que equivaldría a una respuesta parcial general y no específica, como Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) acertó al indicar que la clave para la memoria no está en las neuronas individuales, sino en las conexiones (González Álvarez, 2010).

¿Cuánta información se puede teóricamente acumular en el cerebro?

Alguien escribió que en el interior de la cabeza de los humanos hay el equivalente a 20 millones de libros -2×10^7 (Sagan, 1980), pero no aclara en el encéfalo de quienes, de que extensión en páginas, tipo de letra, de qué edad el humano, sanos o enfermos?, además, indica que las memorias están almacenadas de modo redundante en muchos puntos, y que el contenido de información verbal de un libro es algo inferior a 10 millones de bits –un bit representa información digital de dos posibilidades o 1 o 0, como información más pequeña en ciencia informática, no se trata de palabras o letras, sino de información lógica y para almacenar información como texto se deben agrupar múltiples bits, pudiéndose representar un carácter completo con 8 bits-, que el número total que caracteriza un programa de televisión de una hora de duración es de 10^{12} bits, que la información en palabras o imágenes de los diferentes libros y bibliotecas de la tierra es 10^{16-17} (Sagan, 1980). Algo que aparentemente no “cabría” en el cerebro, aunque los fundamentos de que si se podría, es que con 85 mil millones de neuronas que poseemos (Duque Colorado et al., 2024) y la gran cantidad de sinneuronas que bien podría ser de al menos otros 85 mil millones (Duque Parra, 2023) -8.5×10^{10} , con diversos tipos de neuronas que pueden

tener hasta 200,000 conexiones sinápticas cada una (Hall & Hall, 2021) $-2 \times 10^5-$, por interacciones de vías de canalizaciones de potenciales de acción, permitiría transmitir gran parte de esta información que teóricamente podríamos depositar en aparentes casillas cerebrales -que nadie sabe dónde están-. Son tantas las conexiones en un cerebro humano adulto, que a razón de una por segundo necesitaríamos más de tres millones de años para solo contarlas (Seth, 2015). Por lo tanto, los estudios indican que la especificidad de los recuerdos y la cantidad de otros detalles episódicos que incluyen quién, qué y dónde, están relacionados y pueden depender de los mismos procesos neuronales para provocar su recuperación (Barry et al., 2023), es decir, de su cambiante dinámica y la recuperación de la memoria es un proceso activo, no como ojear un álbum de fotografías.

Siendo pragmáticos, aunque olvidemos cosas, aún tenemos que “almacenar” una enorme cantidad de información durante muchos años y hacerlo con fidelidad razonable, por lo que algunos recuerdos durarán toda la vida y el proceso de memorización tiene que ser preciso, pero también tiene que ser útil a la hora de acreditar y respaldar la generalización, tiene que ser permanente y estar sujeta a modificación por experiencia posterior, por lo que es probable que los cambios en la excitabilidad intrínseca participen en ciertos aspectos de almacenamiento de la memoria, con lo que el cerebro no utiliza un único mecanismo celular o una región cerebral para “almacenar” memoria, ya que supone múltiples lugares cerebrales y varios mecanismos, en los que cada uno de ellos puede producirse a través de una serie de estrategias moleculares diferentes (Linden, 2010). Anotamos que, en cierto momento, podemos ser conscientes que una nota musical determinada está sonando, pero al mismo tiempo puede sentirse también una especie de reverberación de otras notas anteriores, la cual no es lo mismo que la recolección de la memoria, lo que correspondería a la presencia simultánea de un conjunto de notas, en grados igualmente diferentes de involucramiento (Böhm & Peat, 1987). Las funciones cerebrales no están totalmente localizadas ni distribuidas por todo el encéfalo, pues cada función depende de una compleja y específica red de regiones interactivas y en el cerebro variadas áreas dedicadas, no trabajan solas, por lo que es mejor concebirlas como centros de intercomunicación en redes complejas interconectadas (Seth, 2015). Otra forma algo metafórica de decirlo: los datos sensoriales que llegan al sistema nervioso central se combinan con creencias previas, para determinar sus causas más probables generando percepciones, al mismo tiempo las diferencias entre las señales predichas y los datos sensoriales son utilizados para actualizar las creencias anteriores, listas para recibir unos nuevos datos de entrada (Seth, 2015) y esto se debe al metabolismo molecular, a las interconexiones neuronales/sinneuronales que relacionan el sistema nervioso central. Por ello, cuando se dice que contemplamos el futuro -que aún no existe-, evocamos sobre todo la memoria -que ya pasó-, así que lo que queda, es pensar que la memoria pertenece al presente continuo que construye el encéfalo.

CONCLUSIÓN

El encéfalo, en especial el cerebro, no almacena información como archivos de computador, memorias USB o impresiones en papel, para recuperarlos en algún momento posteriormente, sino que reconstruye constantemente la información con base a retroalimentación neuroquímica y neurobiológica asociada con implicancias medioambientales necesarias para adaptarse a un medio fluctuante, que algunos creen constante.

REFERENCIAS

- Ambrose, C. T. (2011). La melancolía de las circunvoluciones. *Mente y Cerebro*, (47), 9–13.
- Bahtiyar, S., Gülmez Karaca, K., Henckens, M. J. A. G., & Roozendaal, B. (2020). Norepinephrine and glucocorticoid effects on the brain mechanisms underlying memory accuracy and generalization. *Molecular and Cellular Neuroscience*, 108, 103537. <https://doi.org/10.1016/j.mcn.2020.103537>
- Barry, T. J., Takano, K., Hallford, D. J., Roberts, J. E., Salmon, K., & Raes, F. (2023). Autobiographical memory and psychopathology: Is memory specificity as important as we make it seem? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 14(3), e1624. <https://doi.org/10.1002/wcs.1624>
- Böhm, D., & Peat, D. (1987). *Ciencia, orden y creatividad: Las raíces creativas de la ciencia y la vida*. Kairós.
- Borges Guerra, M., Moreno García, P., & León del Río, R. (1999). La neuropsicología del renacimiento: Examen de ingenios de Huarte de San Juan. *Revista Española de Neuropsicología*, 1(1), 67–94.
- Clarke, A. C. (1966). *Mañana tendrás un alma*. Planeta.
- Drucker, R. (2014). *400 pequeñas dosis de la ciencia*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Duque Colorado, J., Duque Parra, J. E., García Orozco, L., Chamorro, M. F., & del Sol, M. (2024). La persistencia de neuromitos sobre la cuantificación neuronal en el cerebro humano. *International Journal of Morphology*, 42(6), 1767–1772.
- Duque Parra, J. E. (2023). *Las células gliales: Una visión integrativa. Desde los fundamentos histológicos hasta su aplicación clínica*. Universidad de Caldas.
- Duque Parra, J.E., Mendoza, J. (2025). Predictive coding in the brain: It's not just about afferents and efferents. The brain is at work. *Anat & Morphol*, 1(1), 18-22.
- Feldman Barrett, L. (2021). *Siete lecciones y media sobre el cerebro*. Planeta.
- Ghosh, A., & Giese, K. P. (2015). Calcium/calmodulin-dependent kinase II and Alzheimer's disease. *Molecular Brain*, 8, 78. <https://doi.org/10.1186/s13041-015-0166-2>
- González Álvarez, J. (2010). *Breve historia del cerebro*. Planeta.
- Hall, J. E., & Hall, M. E. (2021). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (14th ed.). Elsevier.
- Haubrich, J., & Nader, K. (2023). Network-level changes in the brain underlie fear memory strength. *eLife*, 12, e88172. <https://doi.org/10.7554/eLife.88172>
- Hegedűs, D., & Grolmusz, V. (2024). Robust circuitry-based scores of structural importance of human brain areas. *PLOS ONE*, 19(1), e0292613. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0292613>
- Kozachkov, L., Slotine, J.-J., & Krotov, D. (2025). Neuron-astrocyte associative memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 122(21), e2417788122.
- Laroche, S. (2010). Formación y consolidación de recuerdos. *Mente y Cerebro*, (43), 71–77.
- Linden, D. J. (2010). *El cerebro accidental: La evolución de la mente y el origen de los sentimientos*. Espasa.
- Maingret, N., Girardeau, G., Todorova, R., Goutierre, M., Zugaro, M. (2016). Hippocampo-cortical coupling mediates memory consolidation during sleep. *Nature Neuroscience*. 19(7), 959-964.
- Martínez, A., & Fornaguera, J. (1998). Analogía computacional del cerebro y la mente. *Revista Médica del Hospital Nacional de Niños*, 33(1–2), 43–47.
- Ortega-de San Luis, C., & Ryan, T. J. (2022). Understanding the physical basis of memory: Molecular mechanisms of the engram. *Journal of Biological Chemistry*, 298(5), 101866. <https://doi.org/10.1016/j.jbc.2022.101866>
- Payró-de la Cruz, E., Argüello-Nájera, O., May-Esquivel, F., Catzim-Rojas, F. J., & Gómez-Leyva, J. F. (2023). Selección de *Apis mellifera* por comportamiento y producción de miel en agroecosistemas de Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(3), e3683.
- Pines, M. (1973). *Los manipuladores del cerebro*. Alianza editorial.
- Pinker, S. (2018). *La tabla rasa*. Paidós.
- Rahul Kumar, R., & Yeragani, V. K. (2011). Penfield: A great explorer of psyche-soma-neuroscience. *Indian Journal of Psychiatry*, 53(3), 276–278.
- Robertson, L. T. (2002). Memory and the brain. *Journal of Dental Education*, 66(1), 30–42.
- Rolls, E. T. (2022). The hippocampus, ventromedial prefrontal cortex, and episodic and semantic memory. *Progress in Neurobiology*, 217, 102334.

- Sagan, C. (1980). *Cosmos*. Planeta.
- Sehgal, M., Zhou, M., Lavi, A., Huang, S., Zhou, Y., & Silva, A. J. (2018). Memory allocation mechanisms underlie memory linking across time. *Neurobiology of Learning and Memory*, 153, 21–25.
- Seth, A. (2015). *50 temas fascinantes de la neurociencia para entender nuestro cerebro*. Blume.
- Smart, A. (2014). *El arte y la ciencia de no hacer nada*. Clave Intelectual.
- Turney, J. (2018). *La biblia de la neurociencia*. Gaia.
- Ursúa, N. (1993). *Cerebro y conocimiento: Un enfoque evolucionista*. Anthropos.
- Wang, L., Park, L., Wu, W., King, D., Vega-Medina A., Raven, F., Martinez, J, et al. (2024). Sleep-dependent engram reactivation during hippocampal memory consolidation associated with subregion-specific biosynthetic changes. *iScience*, 4; 27(4), 109408.
- Zaki, Y., & Cai, D. J. (2024). Memory engram stability and flexibility. *Neuropsychopharmacology*, 50(1), 285–2