

Perfiles en aprendizaje y memoria desde la Neurociencia a la Biomedicina

Profiles in learning and memory from neuroscience to biomedicine

Pedro Pablo Alvarez-Falconi^{1,2*} <https://orcid.org/0000-0001-7306-5102>

¹Universidad Nacional F. Villarreal, Facultad de Medicina. Lima, Perú.

²Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

*Autor para la correspondencia: catecol@hotmail.com

RESUMEN

Introducción: El análisis y la reflexión acerca de tópicos fundamentales relativos al aprendizaje y la memoria siempre han constituido objeto de estudio de filósofos y científicos. Esta revisión aborda temas sobre el aprendizaje y la memoria, incluidos aspectos filosóficos, teorías, molécula KIBRA, imagenología, deterioro cognitivo por el SARS-CoV-2, receptores TLR9, “neuronas conceptuales”, hipocampo y ácido domoico.

Objetivo: Deliberar conceptos relevantes en memoria y aprendizaje ligados a la ciencia de la salud, la educación y la biomedicina, en diversas áreas del conocimiento, en concordancia con las orientaciones actuales.

Métodos: Se revisaron las bases de datos PubMed, Scopus, Ebsco, SciELO y Google Académico, y se eligieron contenidos sobre procesos de aprendizaje y memoria, así como los factores que las alteran.

Desarrollo: Se expusieron holísticamente los posibles mecanismos de aprendizaje y memoria, y las patologías que explican su deterioro. Se incidió,

además, sobre el posible ingreso del conocimiento a la mente humana, los tipos de memoria y su relación con el hipocampo, el vínculo KIBRA-PKM ζ , las “neuronas de concepto”, la influencia viral, la participación de los receptores TLRs y la amnesia anterógrada.

Conclusiones: Los avances en aprendizaje y memoria permiten la apreciación crítica de sus aportes en las investigaciones biomédicas.

Palabras clave: aprendizaje; memoria; hipocampo; COVID-19; domoico; amnesia.

ABSTRACT

Introduction: The analysis and reflection on fundamental topics, related to learning and memory have always been the subject of study by philosophers and scientists. This review addresses topics related to learning and memory, including philosophical aspects, theories, the KIBRA molecule, imaging, cognitive impairment due to SARS-CoV-2, TLR9 receptors, “conceptual neurons,” the hippocampus, and domoic acid.

Objective: To discuss relevant concepts in memory and learning linked to health science, education, and biomedicine in various areas of knowledge, in accordance with current guidelines.

Methods: The PubMed, Scopus, Ebsco, SciElo, and Google Scholar databases were reviewed, and content on learning and memory processes, as well as the factors that alter them, was selected.

Development: The possible mechanisms of learning and memory, and the pathologies that explain their deterioration, were presented holistically. Emphasis was also placed on the possible entry of knowledge into the human mind, types of memory and their relationship with the hippocampus, the KIBRA-PKM ζ link, “concept neurons,” viral influence, the participation of TLR receptors, and anterograde amnesia.

Conclusions: Advances in learning and memory allow for a critical appreciation of their contributions to biomedical research.

Keywords: learning; memory; hippocampus; COVID-19; domoic acid; amnesia.

Recibido: 16/10/2024

Aceptado: 08/03/2025

Introducción

La incorporación del conocimiento al cerebro humano ha sido siempre objeto de estudio por filósofos y científicos. La memoria humana integra las funciones cognitivas mediante procesos complejos y difíciles de resolver por las investigaciones de la neurociencia y otros campos del conocimiento.⁽¹⁾ En orden a ello se efectuó la descripción y la deliberación de diversos estudios, se seleccionaron corrientes filosóficas, teorías del aprendizaje, tipos de memoria, vínculo KIBRA-PKM ζ , imagenología, neuronas de “concepto”, hipocampo, síndrome posCOVID con deterioro cognitivo y toxicidad del ácido domoico. Se presentaron interrogantes sobre las ambigüedades cuyas respuestas continúan siendo desconocidas. Se exploraron aspectos relevantes en memoria y aprendizaje, en el intento de una revisión holística de varias disciplinas. El objetivo del presente trabajo fue deliberar conceptos relevantes en memoria y aprendizaje ligados a la ciencia de la salud, la educación y la biomedicina, en diversas áreas del conocimiento, en concordancia con las orientaciones actuales.

Métodos

Se practicó una revisión para establecer las características o perfiles de los avances más significativos, pero también los precedentes fundamentales de los procesos en aprendizaje y memoria que constan en las bases de datos PubMed, Scopus, Ebsco, SciELO y Google Académico. Se acopió información con énfasis en las áreas que las investigaciones no han dilucidado completamente, desde la filosofía hasta la neurociencia. En una concepción holística se incorporaron ideas especulativas y empíricas, teorías de aprendizaje, el deterioro cognitivo por el

SARS-CoV-2, la imagenología, las “neuronas conceptuales” que caracterizan al ser humano, el hipocampo, los tipos de memoria, los receptores TLR9 y la amnesia por el ácido domoico.

Filosofía en aprendizaje y memoria

Investigar acerca del aprendizaje y memoria significa tratar las corrientes filosóficas que han participado en la búsqueda de tales procesos. La filosofía intenta explicar el significado de lo que ha encontrado; por tanto, los científicos la utilizan para alcanzar el razonamiento mediante la reflexión, la evaluación crítica, la observación; y así contribuir a clarificar conceptos y proponer nuevas teorías.

Según la filosofía especulativa, las ideas y las teorías, elaboradas sin ayuda de los órganos de los sentidos, constituyen las fuentes del conocimiento, el cual no depende de las experiencias, sino de las ideas que promueven la especulación; llega por las ideas y se consolida en la memoria, sin intervenir las experiencias en sus principios ni conclusiones.⁽²⁾ Con las ideas se especuló, se agregó la intuición y se construyó el saber, que a veces llegaba a la inconsistencia. Como herramienta filosófica, la especulación sirvió para fundamentar la realidad; actualmente se utiliza en la ciencia, la medicina, el arte y la tecnología porque, aunque pueda generar incertidumbres, resulta fundamental para estructurar teorías que implican imaginación e intuición.

La filosofía empírica estableció que el conocimiento humano se derivaba de la experiencia a través de los órganos de los sentidos, y los datos del objeto y su relación con el sujeto. Sin embargo, no hay metodologías filosóficas para explicar cómo se construye el conocimiento en el cerebro humano a partir de los datos de los sentidos; esto significa que se desconoce cómo las sensaciones empíricas elaboran los conceptos en la mente humana y los procesos de incorporación del conocimiento a la memoria por parte de la epistemología de la ciencia.

El empirismo señaló que, al ingresar el conocimiento al cerebro por los órganos de los sentidos, la memoria organizaba sus relaciones e interacciones, las cuales servirían a la supervivencia del individuo. Por otra parte, en un intento de explicar cómo se originaban, incorporaban y transformaban las ideas en los procesos de

aprendizaje y memoria, se consideró el conocimiento, al menos en parte, como un proceso constructivo desde el nacimiento. Jean Piaget aportó a ello con su teoría de la epistemología genética del conocimiento humano,⁽³⁾ que refiere que el individuo nace con una estructura cognitiva y aspectos esenciales para su supervivencia, como el reflejo de succión.

Se ha asumido la influencia de otros factores que pueden ocasionar problemas cognitivos durante la etapa prenatal, por ejemplo, la diabetes mellitus pregestacional.⁽⁴⁾ Con el tiempo esa capacidad puede modificarse por la realidad exterior o viceversa.⁽⁵⁾ La filosofía especulativa y la empírica no lograron dilucidar tales procesos.

Conductismo y constructivismo

Con el fin de optimizar la enseñanza, muchas sociedades aplicaron diversas teorías de aprendizaje y memoria. El conductismo o teoría conductista fue relevante en el siglo pasado y se aplicó desde la educación inicial hasta la universitaria.⁽⁶⁾ Su objetivo era investigar las causas del comportamiento humano para intentar predecir, modificar y controlar las conductas a través de la relación entre memoria y emoción. El proceso de aprendizaje consistía en estimular al estudiante para generar respuestas o conductas nuevas, pero establecía estrategias rígidas, orientado más por las recompensas que por aprender; además, era reduccionista y pretendía resolver cuestiones del conocimiento sin incorporar aspectos no observables como las creencias. Actualmente, se prefieren los aprendizajes activos con la intervención del estudiante.

Por su parte, el constructivismo implicó la interacción entre el docente y el estudiante. El alumno integraba elementos materiales y mentales en su aprendizaje y asumía un papel activo en su formación. El profesor se convertía en un tutor para que el estudiante adquiriera experiencia y consolidara el conocimiento. La teoría de la epistemología genética de Piaget es constructivista, porque el estudiante modifica sus estructuras cognitivas en la interacción con los objetos. Vygotsky señalaba que la construcción ocurría según el medio.⁽⁷⁾ El constructivismo incide en el análisis para la comprensión de contenidos, prioriza la reflexión, el cuestionamiento, el trabajar en problemas y la evaluación permanente.

Tipos de memorias

Sobre la base de teorías apriorísticas la memoria humana se clasificó en memoria de corto plazo y memoria de largo plazo, mas no se requerían tiempos de duración exactos para tipificarlas.⁽⁸⁾ Después se definieron subtipos de memoria sin confirmar la estructura neuronal en la que se asentaban. La memoria de corto plazo puede durar desde segundos hasta dos horas, incluye la memoria de trabajo, que puede tener una duración mayor, y comprende la actividad laboral. La memoria a largo plazo abarca dos subtipos memoria declarativa (explícita) y memoria no declarativa (procedimental o implícita).

La memoria declarativa se conforma por la memoria semántica y la episódica (memoria autobiográfica).⁽⁹⁾ La primera almacena y recuerda información de hechos generales, como significados de palabras, aspectos culturales y conceptos;⁽¹⁰⁾ mientras que la segunda se refiere a episodios específicos del pasado, momentos importantes de la vida o recuerdos que inciden en las emociones y ocasionan alegría o depresión.⁽¹¹⁾ La memoria no declarativa emplea los recuerdos para ejecutar acciones aprendidas previamente y actividades rutinarias de repetición constante, como manejar un auto o una bicicleta.

En el intento de explicar las memorias, se ha especulado que los recuerdos episódicos, y tal vez otros, se almacenan en neuronas denominadas engramas (conjuntos neuronales con conexiones sinápticas, activados por el recuerdo), partes del cerebro y el hipocampo, mediante mecanismos no aclarados.⁽¹²⁾ Las sinapsis de las engramas permitirían el almacenamiento y la recuperación de la memoria en el hipocampo y la amígdala, así como del conocimiento. Los recuerdos se codifican mediante modificaciones moleculares, y el aprendizaje cambiaría esa conectividad gracias a la neuroplasticidad o plasticidad sináptica.⁽¹³⁾ La neuroplasticidad se define como la capacidad del cerebro para reorganizarse y formar nuevas sinapsis, según estímulos externos e internos.

La memoria es poligenética; depende de varios genes. En la memoria de largo plazo, las sinapsis en las engramas corresponderían a moléculas con información de recuerdos. No se ha esclarecido el porqué los recuerdos de largo plazo duran casi toda la vida de la persona en moléculas que deberían tener un período de biotransformación relativamente corto y desaparecer. La respuesta parece estar

en las denominadas moléculas KIBRA, proteína localizada cerca de las sinapsis del hipocampo y asociada con la memoria humana, la plasticidad sináptica y la memoria a largo plazo.⁽¹⁴⁾

La molécula KIBRA se anexa con la proteína quinasa Mzeta (PKM ζ) a las sinapsis de las moléculas o células que almacenan los recuerdos a largo plazo. El vínculo KIBRA-PKM ζ (conocido como “pegamento molecular”) sería fundamental para el mantenimiento o conservación, de la memoria antigua o recuerdos a largo plazo.⁽¹⁵⁾

Imagenología y memoria

Las imágenes de la resonancia magnética funcional (RMNf) en memoria y aprendizaje muestran cambios metabólicos cuando las áreas del cerebro se activan por tareas como leer, escribir o recordar.⁽¹⁶⁾ Las imágenes de la RMNf exhiben la base orgánica o histológica de los subtipos de memoria, pero la superposición entre ellas sugiere que las mismas estructuras histológicas asumen funciones diferentes. Esto colisiona con los principios generales de la fisiología, pues cada estructura o grupo celular suele tener una función específica. Las imágenes no han mostrado sitios de “almacenamiento” de la memoria, aunque han propuesto que el hipocampo posterior se relaciona con los recuerdos de la memoria episódica.⁽¹⁷⁾ Para una adecuada confiabilidad, se debería confirmar si en tales neuroimágenes se ha considerado que las hormonas ováricas modulan la actividad cerebral durante el ciclo menstrual y, en su relación con la cognición, podrían causar distorsión.⁽¹⁸⁾ Asimismo, debería descartarse la presencia de ovario poliquístico, que afecta las áreas de memoria y atención.⁽¹⁹⁾

En aprendizaje y memoria resultan importantes las “neuronas de concepto”, también denominadas “neuronas de abstracción”.⁽²⁰⁾ Estas reconocen rostros humanos en secuencias y permiten pensar o recordar en conceptos o abstracciones, lo que no ocurre en otras especies ni se ha encontrado en animales de laboratorio. Para su descubridor, *Rodrigo Quian*,⁽²¹⁾ son características del ser humano.

Los conceptos representan cosas esenciales y no detalles, y distinguen las capacidades cognitivas como el “sentido común”; por ello la inteligencia artificial no podría reemplazar a la del ser humano. La neurociencia cognitiva ha intentado

dilucidar los procesos en la consolidación de la memoria, los mecanismos neuronales y neurotransmisores, así como su relación con diferentes regiones del cerebro humano.⁽²²⁾

Hipocampo, COVID persistente y memoria

En 1953 en un tratamiento quirúrgico para la epilepsia, al paciente H.M. le retiraron ambos lóbulos del hipocampo junto con su amígdala.⁽²³⁾ Desde el posoperatorio se diagnosticó amnesia anterógrada: el paciente no formaba recuerdos nuevos ni memoria, aunque recordaba hechos ocurridos antes de la cirugía. Se confirmaba por primera vez en humanos la relación entre el hipocampo y la memoria reciente o de corto plazo.

Este estudio demostró que se podía formar memoria no declarativa, pero la memoria de corto plazo nunca se recuperó. El hipocampo completo resulta fundamental para la memoria reciente o de corto plazo, aunque no constituye la única vía para la memoria no declarativa. La amígdala del hipocampo, por su proximidad física, regula las emociones o sentimientos que acompañan los recuerdos: alegría, tristeza, indiferencia, agresión, miedo, placer y recompensas.⁽²⁴⁾ La enfermedad de Urbach-Wiethe afecta la amígdala y la persona pierde el control de sus emociones.⁽²⁵⁾

Durante la pandemia de COVID-19, la memoria de corto plazo fue la más sensible.⁽²⁶⁾ Muchas personas presentaron el síndrome posCOVID-19 o COVID persistente, desde 12 semanas hasta un año, con cefalea, trastornos del sueño, disnea y deterioro cognitivo,^(27,28) con una prevalencia entre el 10 % y el 85 %.⁽²⁹⁾ Las secuelas en el hipocampo incluyeron deterioro cognitivo, problemas en la atención, la concentración y la memoria y aumento de volumen.⁽³⁰⁾

Todos los enfermos por el virus no evolucionaron igual, lo cual se atribuyó al polimorfismo genético (presencia de dos o más variantes de una secuencia específica de ADN en diferentes poblaciones). El polimorfismo -308A > G del gen *TNFα* explicaría los problemas cognitivos en el síndrome posCOVID-19 persistente y las diferencias clínicas entre los asintomáticos, los enfermos con moderada sintomatología, y los que presentaron alta letalidad o severidad.⁽³¹⁾

El sistema inmunológico representa la inmunidad innata y la inmunidad adquirida. La innata no tiene “memoria” (inespecífica) y produce respuestas casi inmediatas, en cambio, la adquirida (específica), aunque demora en instalarse, sigue varias secuencias y las “guarda” en células de varias denominaciones. Tales secuencias le permiten identificar los péptidos de patógenos para inactivarlos. Se han demostrado relaciones entre el sistema inmunológico, el hipocampo y la memoria. En el hipocampo, las asociaciones de la memoria declarativa verbal (semántica y episódica) con las vías relacionadas al sistema inmunológico contribuyen al rendimiento de dicha memoria.⁽³²⁾ Al buscar las razones de la deficiencia cognitiva por el virus, se llega a los receptores TLRs.

Los receptores TLRs constituyen una familia de proteínas del sistema inmunitario que reconocen moléculas de agentes infecciosos como el coronavirus. En el hipocampo humano las interacciones de la subfamilia TLR9 promueven la inflamación para proteger al organismo. Tal vez las personas con dificultades cognitivas por la COVID-19 persistente no tengan cantidades suficientes de TLR9 para estimular una respuesta antiviral y por ello no puedan crear recuerdos o memoria a largo plazo.⁽³³⁾ Los recuerdos duraderos no ocurren sin producir inflamación y cierto daño al ADN en determinadas neuronas del hipocampo. Se podría relacionar entonces el fenómeno inmunitario y el cognitivo. El bloqueo de la vía inflamatoria de los receptores TLR9 ayudaría a explicar los problemas cognitivos en la COVID-19 persistente. Si el proceso neuroinflamatorio no concluye normalmente y se hace crónico, sería responsable, al menos en parte, de la enfermedad de Alzheimer, de ahí la inmunoterapia sugerida para el tratamiento.⁽³⁴⁾

Hipocampo y ácido domoico

En 1987 en la Isla Prince Edward de Canadá ocurrió una intoxicación alimentaria por mejillones contaminados con la biotoxina ácido domoico. Varios afectados manifestaron dificultad para recordar actividades nuevas, compatible con amnesia anterógrada.⁽³⁵⁾ Un intoxicado de 84 años presentó impedimento permanente de la memoria anterógrada, y la resonancia magnética mostró la atrofia de ambos lóbulos de su hipocampo por la biotoxina.

Por primera vez se confirmó en personas sanas que una lesión del hipocampo obstaculizaba la memoria reciente o de corto plazo. Otro paciente de 71 años refirió que olvidaba lo que había expresado horas previas, pero cuatro meses después informó una mejoría de su memoria. Otro caso de 69 años perdió su capacidad de concentración, se afectó su memoria reciente y le era imposible retener información nueva. Se hizo un seguimiento durante meses a una docena de intoxicados con secuelas en la memoria reciente y se observó el déficit de la memoria anterógrada. El examen histopatológico del cerebro de los fallecidos confirmó la necrosis de la amígdala y el hipocampo, responsables de los procesos de aprendizaje y memoria.

Durante las mareas rojas florecen algas unicelulares que sintetizan el ácido domoico y son el alimento de los mariscos o moluscos. Una marea roja había ocurrido la semana previa en el mar donde se extrajeron los mejillones, pero no se conocía ese fenómeno ni las capacidades tóxicas de la biotoxina. El síndrome se denominó intoxicación amnésica por moluscos (mariscos). El intoxicado cuya memoria mejoró puede atribuirse a la plasticidad neuronal, la regeneración o proliferación de la microglía desde las células madre del hipocampo, o el ejercicio físico que regenera la microglía y retarda el deterioro cognitivo.^(36,37)

Conclusiones

Los temas acerca de los procesos en aprendizaje y memoria revisados permiten tener una visión holística de sus avances. Varias interrogantes continúan siendo un desafío para la neurociencia y la ciencia en general, más aún por la imposibilidad ética de avanzar en la investigación directa en el ser humano.

Referencias bibliográficas

1. Hossein SA. Seven ambiguities in explaining the human memory system in the principles of neural science book. Basic Clin Neurosci. 2023;14(4):543-8. DOI: <https://doi.org/10.32598/bcn.2023.1774.4>

2. Felipe JM. Francisco Suárez, metafísica y conocimiento a priori. *Daimon Rev Int Filosofía*. 2024;91:53-68. DOI: <https://doi.org/10.6018/daimon.474851>
3. Lima CS, Nóbile MF. A construção do conhecimento segundo a epistemologia genética: reflexões sobre a teoria e a prática na escola. *Rev Bras Pós-graduaç*. 2020;16(36):1-18. DOI: <http://dx.doi.org/10.21713/rbpg.v16i36.1663>
4. Isla Y, Díaz PA, Toledo D, Alonso M, Rodriguez S. El volumen nuclear neuronal como indicador de madurez del tejido nervioso en modelo animal de diabetes pregestacional. *Rev Cub Inv Bioméd*. 2024 [acceso 15/10/2024];43. Disponible en: <https://revibiomedica.sld.cu/index.php/ibi/article/view/2655>
5. Ramozzi-Chiarottino Z. Jean Piaget's Genetic Epistemology as a Theory of knowledge based on epigenesis. *Athens J Human Arts*. 2021;8(3):209-30. DOI: <https://doi.org/10.30958/ajha.8-3-2>
6. Posso RJ, Barba LC, Otáñez NR. El conductismo en la formación de los estudiantes universitarios. *Educare*. 2020;24(1):117-33. DOI: <https://doi.org/10.46498/reduipb.v24i1.1229>
7. Redondo DD, Puentes PJ, Brito CJ. ¿Cómo aprendieron los niños? Una respuesta desde el constructivismo social subyacente del contexto histórico y sociocultural actual. *Rev UNIMAR*. 2024;42(1):103-17. DOI: <https://doi.org/10.31948/ru.v42i1.3851>
8. Wixted JT. Atkinson and Shiffrin's influential model overshadowed their contemporary theory of human memory. *J Mem Lang*. 2024;136:104471. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jml.2023.104471>
9. Tanguay AFN, Palombo DJ, Love B, Glikstein R, Davidson PSR, Renoult L. The shared and unique neural correlates of personal semantic, general semantic, and episodic memory. *Elife*. 2023;12:e83645. DOI: <https://doi.org/10.7554/elife.83645>
10. Dalvi-Garcia F, Quagliato LA, Bearden DJ, Nardi AE. Prediction of declarative memory profile in panic disorder patients: a machine learning-based approach. *Braz J Psychiatry*. 2023;45(6):482-90. DOI: <https://doi.org/10.47626/1516-4446-2023-3291>

11. Duken SB, Keessen L, Hoijtink H, Kindt M & van Ast VA. Bayesian evaluation of diverging theories of episodic and affective memory distortions in dysphoria. *Nat Commun.* 2024;15(1):1320. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-45203-4>
12. Ortega-de San Luis C, Pezzoli M, Urrieta E, Ryan TJ. Engram cell connectivity as a mechanism for information encoding and memory function. *Curr Biol.* 2023;33(24):5368-80.e5. DOI: <https://doi.org/10.1101/2023.09.21.558774>
13. Tomé DF, Zhang, Y, Aida T, Mosto O, Lu Y, Chen M, *et al.* Dynamic and selective engrams emerge with memory consolidation. *Nat Neurosci.* 2024;27(3):561-72. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41593-023-01551-w>
14. Mendoza ML, Quigley LD, Dunham T, Volk LJ. KIBRA regulates activity-induced AMPA receptor expression and synaptic plasticity in an age-dependent manner. *iScience.* 2022;25(12):105623. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105623>
15. Tsokas P, Hsieh C, Flores-Obando RE, Bernabo M, Tcherepanov A, Hernández AI, *et al.* KIBRA anchoring the action of PKM ζ maintains the persistence of memory. *Sci Adv.* 2024;10(26):eadl0030. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.adl0030>
16. Kokkinos V, Seimenis I. Concordance of verbal memory and language fMRI lateralization in people with epilepsy. *J Neuroimag.* 2024;34(1):95-107. DOI: <https://doi.org/10.1111/jon.13171>
17. Clark IA, Dalton MA, Maguire EA. Posterior hippocampal CA2/3 volume is associated with autobiographical memory recall ability in lower performing individuals. *Sci Rep.* 2023;13(1):7924. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35127-2>
18. Avila-Varela DS, Hidalgo-Lopez E, Dagnino PC, Acero-Pousa I, del Agua E, Déco G, *et al.* Whole-brain dynamics across the menstrual cycle: the role of hormonal fluctuations and age in healthy women. *npj Women's Health.* 2024;2(8):1-9. DOI: <https://doi.org/10.1038/s44294-024-00012-4>
19. Huddleston HG, Jaswa EG, Casaletto KB, Neuhaus J, Kim C, Wellons M, *et al.* Associations of polycystic ovary syndrome with indicators of Brain Health at midlife in the CARDIA Cohort. *Neurology.* 2024;102(4):e208104. DOI: <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000208104>

20. Quian-Quiroga R, Boscaglia M, Jonas J, Rey HG, Yan X, Maillard L, *et al.* Single neuron responses underlying face recognition in the human midfusiform face-selective cortex. *Nat Commun.* 2023;14(1):5661. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41323-5>
21. Quian R. An integrative view of human hippocampal function: Differences with other species and capacity considerations. *Hippocampus.* 2023;33(5):616-34. DOI: <https://doi.org/10.1002/hipo.23527>
22. Sridhar S, Khamaj A, Asthana MK. Cognitive neuroscience perspective on memory: overview and summary. *Front Hum Neurosci.* 2023;17:1217093. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1217093>
23. Amaral DG, Augustinack J, Barbas H, Frosch M, Gabrieli J, Luebke J, *et al.* The analysis of H.M.'s brain: A brief review of status and plans for future studies and tissue archive. *Hippocampus.* 2024;34(2):52-7. DOI: <https://doi.org/10.1002/hipo.23597>
24. Beadle JN, Heller A, Rosenbaum RS, Davidson PSR, Tranel D, Duff M. Amygdala but not hippocampal damage associated with smaller social network size. *Neuropsychol.* 2022;174:108311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108311>
25. Staniloiu A, Markowitsch HJ. How can key findings from patients with Urbach-Wiethe Disease (UWD) support the role of amygdala in socio-emotional-cognitive functioning? The case of a young adult with genetically proven UWD without amygdala calcifications. *Eur Psychiatry.* 2023;66(suppl 1):S622-3. DOI: <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2023.1295>
26. Domínguez-Paredes AL, Varela-Tapia CL, Dorado-Arias V, Salazar-Núñez E, Martínez-Barro D. Alteraciones cognitivas en pacientes recuperados de COVID-19 atendidos en rehabilitación cardiopulmonar. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc.* 2023;61(6):796-801. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10064351>
27. Hampshire A, Azor A, Atchison C, Trender W, Hellyer PJ, Giunchiglia V, *et al.* Cognition and memory after Covid-19 in a large community sample. *N Engl J Med.* 2024;390(9):806-18. DOI: <https://doi.org/10.1056/nejmoa2311330>
28. Ely EW, Brown LM, Fineberg HV. Long covid defined. *N Engl J Med.* 2024;391(18):174-53. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMs2408466>

29. Ahmed A, Kazzaz ME, Brakat AM. Can intranasal insulin and cholinergic agonist improve post-covid-19 cognition impairment? *Adv Pharm Bull.* 2024;14(1):7-8. DOI: <https://doi.org/10.34172/apb.2024.017>
30. Cai L, Maikusa N, Zhu Y, Nishida A, Ando S, Okada N, *et al.* Hippocampal structures among japanese adolescents before and after the COVID-19 Pandemic. *JAMA Netw Open.* 2024;7(2):e2355292. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.55292>
31. Alemañy C, Sotomayor F, Marcheco B. Relación del polimorfismo -308A>G del gen TNF α con la evolución clínica de pacientes con COVID-19. *Rev Cub Inv Bioméd.* 2024 [acceso 15/10/2024];43. Disponible en: <https://revibiomedica.sld.cu/index.php/ibi/article/view/3075>
32. Mei H, Simino J, Li L, Jiang F, Bis JC, Davies G, *et al.* Multi-omics and pathway analyses of genome-wide associations implicate regulation and immunity in verbal declarative memory performance. *Alzheimer's Res Ther.* 2024;16(1):14. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13195-023-01376-6>
33. Jovasevic V, Wood EM, Cicvaric A, Zhang H, Petrovic Z, Carboncino A, *et al.* Formation of memory assemblies through the DNA-sensing TLR9 pathway. *Nature.* 2024;628(8006):145-53. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07220-7>
34. Hou JH, Ou YN, Xu W, Zhang PF, Tan L, Yu JT, *et al.* Association of peripheral immunity with cognition, neuroimaging, and Alzheimer's pathology. *Alzheimers Res Ther.* 2022;14(1):29. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13195-022-00968-y>
35. Alvarez-Falconí PP. Ácido domoico e intoxicación amnésica por moluscos en salud pública. *Rev Peru Med Exp Salud Pública.* 2009 [acceso 15/10/2024];26(4):505-16. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36318974013>
36. Cerón J, Troncoso J. Facial nerve injury-associated hippocampal microglial activation. *Biomedica.* 2022;42(1):109-206. DOI: <https://doi.org/10.7705/biomedica.6216>
37. Chauquet S, Willis EF, Grice L, Harley SBR, Powell JE, Wray NR, *et al.* Exercise rejuvenates microglia and reverses T cell accumulation in the aged female mouse brain. *Aging Cell.* 2024;23(7):e14172. DOI: <https://doi.org/10.1111/accel.14172>

Conflicto de intereses

El autor declara que no existe conflicto de intereses.