

Revisión de la literatura

Configuración neuroanatómica y sus implicaciones en el aprendizaje profundo y superficial.

Neuroanatomical configuration and its implications in deep and surface learning.

Heydi Angélica Jiménez-Urrego^{1,a}, Sebastián Giraldo-Pantoja^{1,a}, Alejandra Aragon-Imbachi^{1,a},
Diana Marcela Osorio-Roa^{2,a}

1. Estudiante de Medicina.
2. Fisioterapeuta, Magíster en Ciencias Biomédicas, Doctora (c) en Educación, Profesora Departamento de Ciencias Básicas de la Salud.
- a. Facultad de Ciencias de la Salud, Pontificia Universidad Javeriana Cali (Colombia).

CORRESPONDENCIA

Diana Marcela Osorio Roa
ORCID ID <https://orcid.org/0009-0004-5100-851X>
Pontificia Universidad Javeriana Cali (Colombia).
E-mail: diana.osorio@javerianacali.edu.co

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores del artículo hacen constar que no existe, de manera directa o indirecta, ningún tipo de conflicto de intereses que pueda poner en peligro la validez de lo comunicado.

RECIBIDO: 21 de noviembre de 2024.
ACEPTADO: 30 de julio de 2025.

RESUMEN

El texto presentado explora la relación entre las estructuras neuroanatómicas del cerebro y los procesos de aprendizaje profundo y superficial. Se establece que el aprendizaje profundo, caracterizado por la comprensión, la reflexión crítica y la aplicación del conocimiento, activa de manera más intensa y sostenida áreas como la corteza prefrontal dorsolateral y el hipocampo. Estas regiones son cruciales para la consolidación de la memoria a largo plazo, la integración de nueva información con experiencias previas y la toma de decisiones complejas. Por otro lado, el aprendizaje superficial, centrado en la memorización sin un análisis profundo, se asocia con una activación limitada de dichas áreas, involucrando principalmente la amígdala y regiones relacionadas con las respuestas emocionales y la memoria a corto plazo. El estudio subraya la importancia de la plasticidad neuronal en el aprendizaje profundo, ya que permite que las conexiones neuronales se adapten y se modifiquen en respuesta a nueva información, facilitando la transferencia del conocimiento a nuevos contextos. Finalmente, se discuten las implicaciones pedagógicas de estos hallazgos, resaltando la necesidad de implementar estrategias educativas que promuevan el aprendizaje profundo, como el aprendizaje basado en problemas y el trabajo colaborativo. Asimismo, se sugiere la necesidad de futuras investigaciones que exploren la influencia de variables individuales y contextuales en los procesos de aprendizaje, así como la aplicación de tecnologías emergentes, como la estimulación cerebral no invasiva, para mejorar el rendimiento académico.

Palabras clave: Neuroanatomía, aprendizaje profundo, aprendizaje superficial, corteza prefrontal, plasticidad neuronal.

ABSTRACT

The presented text explores the relationship between the brain's neuroanatomical structures and the processes of deep and surface learning. It establishes that deep learning, characterized by understanding, critical reflection, and the application of knowledge, more intensely and sustainably activates areas such as the dorsolateral prefrontal cortex and the hippocampus. These regions are crucial for long-term memory consolidation, the integration of new information with prior experiences, and complex decision-making. In contrast, surface learning, focused on memorization without in-depth analysis, is associated with limited activation of these areas, primarily involving the amygdala and regions related to emotional responses and short-term memory. The study highlights the importance of neuronal plasticity in deep learning, as it allows neural connections to adapt and be modified in response to new information, facilitating the transfer of knowledge to new contexts. Finally, the pedagogical implications of these findings are discussed, emphasizing the need to implement educational strategies that promote deep learning, such as problem-based learning and collaborative work. Likewise, the need for future research is suggested to explore the influence of individual and contextual variables on learning processes, as well as the application of emerging technologies, such as non-invasive brain stimulation, to improve academic performance.

Key words: Neuroanatomy, deep learning, surface learning, prefrontal cortex, neuronal plasticity.

Jiménez-Urrego HA, Giraldo-Pantoja S, Aragon-Imbachi A, Osorio-Roa DM. Configuración neuroanatómica y sus implicaciones en el aprendizaje profundo y superficial. *Salutem Scientia Spiritus* 2025; 11(4):121-128.



La Revista *Salutem Scientia Spiritus* usa la licencia Creative Commons de Atribución - No comercial - Sin derivar:

Los textos de la revista son posibles de ser descargados en versión PDF siempre que sea reconocida la autoría y el texto no tenga modificaciones de ningún tipo.

INTRODUCCIÓN

El estudio del aprendizaje ha sido un campo de interés desde mediados del siglo XX, siendo la distinción entre aprendizaje superficial y profundo un aspecto muy relevante. Marton y Säljö¹ describieron estas dos aproximaciones en estudiantes universitarios, estableciendo que el aprendizaje superficial se enfoca en la memorización de información sin un entendimiento profundo, mientras que el aprendizaje profundo implica un procesamiento más exhaustivo que favorece la comprensión y la aplicación de los conocimientos a nuevos contextos. Esta distinción ha sido confirmada en investigaciones posteriores, donde se evidencia que el aprendizaje profundo no solo conlleva una mayor retención de la información a largo plazo, sino que también genera asociaciones más duraderas y significativas.

El aprendizaje superficial, caracterizado por la memorización sin reflexión, tiende a implicar redes neuronales más simples y una menor activación cortical. Estas redes suelen limitarse a áreas asociadas a la memoria de trabajo a corto plazo, como el hipocampo, y a procesos de reconocimiento básico, lo que explica la naturaleza efímera del conocimiento adquirido bajo esta modalidad. Por el contrario, el aprendizaje profundo se asocia con una activación más sostenida de la corteza prefrontal y el hipocampo, áreas responsables no solo de la memoria a largo plazo, sino también de la integración de nueva información con experiencias previas.²

Estudios recientes en neuroanatomía han profundizado en la relación entre las estructuras cerebrales y los diferentes tipos de aprendizaje. El aprendizaje profundo, que favorece la comprensión y la reflexión crítica, activa de manera significativa el hipocampo y la corteza prefrontal dorsolateral, áreas implicadas en la consolidación de la memoria y en la toma de decisiones complejas. Esto contrasta con el aprendizaje superficial, el cual involucra una menor activación de estas áreas y es más dependiente de estructuras como la amígdala, asociada principalmente a respuestas emocionales y memorias menos duraderas.³

La importancia de comprender las bases neuroanatómicas del aprendizaje radica en sus posibles aplicaciones en el campo de la educación y la neurociencia cognitiva.

Svirko y Mellanby⁴ evidencian que los estudiantes que adoptan un enfoque superficial del aprendizaje, particularmente en áreas complejas como la neuroanatomía, tienden a obtener resultados académicos inferiores, lo que enfatiza la necesidad de fomentar estrategias pedagógicas que promuevan el aprendizaje profundo. Asimismo, la investigación actual sugiere que las intervenciones pedagógicas basadas en el conocimiento neuroanatómico pueden mejorar significativamente los procesos de aprendizaje y la retención de la información a largo plazo.

La neuroimagen ha proporcionado un valioso apoyo para el estudio del aprendizaje profundo y superficial. Técnicas como la resonancia magnética funcional (fMRI) han permitido observar cómo el cerebro responde de manera diferente a estos dos tipos de aprendizaje, revelando patrones de activación más complejos y duraderos en el aprendizaje profundo.⁵ Esto ha abierto la puerta a la creación de estrategias educativas más efectivas, basadas en la comprensión de los mecanismos neuroanatómicos que sustentan el aprendizaje. El objetivo de esta revisión es describir cómo se configuran las principales estructuras neuroanatómicas involucradas en el aprendizaje profundo y superficial, con el fin de contribuir a una mejor comprensión de estos procesos y ofrecer información valiosa para profesionales de la salud y de la educación que facilite el desarrollo de estrategias didácticas que favorezcan un aprendizaje más efectivo.

METODOLOGÍA

Se adoptó una revisión de la literatura para explorar en profundidad los mecanismos neuroanatómicos involucrados en el aprendizaje. Esta revisión se centra en la integración y el análisis de los conocimientos actuales sobre las rutas neuroanatómicas en los tipos de aprendizaje profundo y superficial.

Estrategia de búsqueda

El proceso de búsqueda se realizó en bases de datos reconocidas: PubMed, PsycINFO, Scopus y Google Scholar, utilizando los siguientes términos MeSH: “neuroanatomía”, “aprendizaje profundo”, “aprendizaje superficial”, “estudiantes” y “rutas neuroanatómicas”, aplicándose tanto en inglés como en español para abarcar literatura desde el año 2014 hasta 2024.

Criterios de inclusión y exclusión

Se establecieron los siguientes criterios de inclusión: revisiones sistemáticas y metaanálisis publicados en los últimos 10 años; artículos que examinen la relación entre estructuras neuroanatómicas y los tipos de aprendizaje; investigaciones con muestras de estudiantes de diversas disciplinas educativas; publicaciones en inglés y español. Se excluyeron aquellos estudios que no abordan específicamente la neuroanatomía, artículos sin revisión por pares y los que no están disponibles en inglés o español.

Extracción y análisis de datos

Para la extracción de datos, se diseñó una plantilla que permitiera recolectar información clave de cada estudio, tales como autoría, año de publicación, método, población estudiada y principales hallazgos en neuroanatomía y aprendizaje. Tres revisores independientes realizaron una validación cruzada para asegurar la precisión y coherencia de los datos extraídos.

Análisis cualitativo

Se procedió a un análisis cualitativo detallado, identificando patrones y temas recurrentes sobre la relación entre la neuroanatomía y el aprendizaje. Se contrastaron hallazgos de estudios con evidencia imagenológica con los conceptos teóricos de la neuroanatomía, atendiendo a la temporalidad y coherencia de los resultados para minimizar sesgos.

Consideración de sesgos

Se identificaron posibles sesgos que pudieran influir en los resultados. Existe una tendencia hacia la publicación de estudios con resultados positivos, lo cual podría distorsionar la percepción sobre la relación entre estructuras neuroanatómicas y tipos de aprendizaje. Además, las variaciones metodológicas y el sesgo cultural representan desafíos en la interpretación y generalización de los hallazgos.

RESULTADOS

Vías neuroanatómicas y su función en el aprendizaje

Las vías neuroanatómicas son fundamentales para el procesamiento y la adquisición del conocimiento, proporcionando la infraestructura cerebral necesaria para realizar tanto el aprendizaje profundo como el superficial. Estas vías están conformadas por una red compleja de conexiones neuronales que permiten la comunicación entre diversas regiones del cerebro, favoreciendo diferentes niveles de procesamiento cognitivo.⁶ En el aprendizaje profundo, la corteza prefrontal y el hipocampo se activan de manera sostenida, lo que facilita la consolidación de información a largo plazo y promueve una comprensión significativa y reflexiva del material estudiado. El hipocampo, una estructura clave en la formación de recuerdos, ha mostrado ser esencial en la consolidación de experiencias en la memoria a largo plazo, lo que convierte a esta estructura en un elemento crucial del aprendizaje profundo.⁷ En contraste, el aprendizaje superficial se caracteriza por la activación de redes menos complejas y una respuesta más rápida, predominando en regiones como la amígdala y áreas de la corteza ventromedial relacionadas con respuestas emocionales y memoria de corto plazo.⁴ Estas diferencias sugieren que las rutas neuroanatómicas activadas en el aprendizaje superficial tienden a ser menos integradas y centradas en la memorización rápida, sin facilitar una reflexión profunda o el establecimiento de conexiones significativas.⁸

Descripción general de las estructuras neuroanatómicas involucradas

El cerebro humano está organizado en regiones que cumplen funciones específicas en el aprendizaje. La corteza cerebral,

compuesta de materia gris en su capa externa y una red de materia blanca en su interior, es esencial para funciones cognitivas superiores, como el razonamiento, la resolución de problemas y la adquisición de conocimiento. Entre sus estructuras principales, el lóbulo frontal es de particular relevancia en el aprendizaje debido a su rol en la regulación emocional y la toma de decisiones, especialmente en el aprendizaje profundo que requiere pensamiento crítico y resolución de problemas.⁹

Lóbulo frontal y aprendizaje

Dentro del lóbulo frontal, la corteza prefrontal dorsolateral se activa significativamente durante el aprendizaje profundo. Esta área es responsable de funciones ejecutivas, incluyendo el control inhibitorio, la toma de decisiones y la planificación, elementos clave para la integración de nueva información con conocimientos previos.¹⁰ Además, el giro precentral, una parte del lóbulo frontal, actúa como la corteza motora primaria y es crucial en el aprendizaje de habilidades motoras o prácticas, contribuyendo así al aprendizaje procedural y la consolidación de habilidades que requieren coordinación motora. La activación de estas áreas en el aprendizaje profundo facilita la creación de vínculos entre conceptos y la aplicación de conocimientos en nuevos contextos.¹¹

Sistema límbico y procesamiento emocional en el aprendizaje

El sistema límbico, que incluye el hipocampo, la amígdala y el giro dentado, es fundamental para el procesamiento emocional y la formación de la memoria. El hipocampo está altamente involucrado en la consolidación de la memoria a largo plazo, siendo esencial para el aprendizaje profundo, ya que permite que la información se retenga y se relacionen con experiencias previas. La amígdala, otra estructura del sistema límbico, interviene en el aprendizaje superficial, particularmente en contextos donde las emociones influyen en la memorización rápida de la información, lo cual se traduce en un impacto a corto plazo y en una menor durabilidad del conocimiento.¹²

Estudios de resonancia magnética funcional (fMRI) han mostrado que el aprendizaje superficial genera una activación limitada de áreas implicadas en la consolidación de la memoria a largo plazo y en el procesamiento crítico. Esta activación se restringe principalmente a regiones que procesan respuestas emocionales inmediatas, mientras que el aprendizaje profundo activa áreas que contribuyen a la reflexión y análisis, lo que fomenta una comprensión más profunda y una mayor capacidad de aplicabilidad del conocimiento.¹³

Comparación entre los patrones de activación en el aprendizaje profundo y superficial

La revisión de la literatura revela patrones diferenciados en el

aprendizaje profundo y superficial. En el aprendizaje profundo, áreas como la corteza cingulada anterior, los núcleos de la base y el tálamo participan de manera sinérgica en la integración de funciones cognitivas y emocionales, facilitando la formación de conocimientos duraderos y la capacidad de aplicar el aprendizaje en nuevos contextos. Por el contrario, el aprendizaje superficial activa redes neuronales menos integradas y orientadas al procesamiento rápido de la información sin un análisis crítico.¹⁴

Plasticidad neuronal y aprendizaje

El aprendizaje profundo favorece una mayor plasticidad neuronal, permitiendo que las conexiones neuronales se adapten y modifiquen en respuesta a la nueva información. Esta plasticidad es esencial para la integración y reorganización de estructuras cognitivas, permitiendo que el aprendizaje sea flexible y transferible a distintos contextos educativos. En el aprendizaje superficial, al depender de redes menos plásticas, las conexiones tienden a consolidarse de forma estática, lo que dificulta la transferencia de conocimientos y la adaptabilidad a nuevas situaciones.^{15,16}

Implicaciones de las vías neuroanatómicas en el aprendizaje

La evidencia neuroanatómica que respalda el aprendizaje profundo sugiere la importancia de implementar estrategias didácticas que activen áreas clave del cerebro, como la corteza prefrontal y el hipocampo. Estas estrategias, como el aprendizaje basado en problemas y el trabajo colaborativo, estimulan el pensamiento crítico y promueven una mayor retención y transferencia del conocimiento. Los métodos de enseñanza que fomentan el análisis reflexivo y la integración de conocimientos se han mostrado efectivos para activar estas áreas y mejorar el rendimiento académico de los estudiantes.^{17,18}

DISCUSIÓN

El presente análisis sobre los mecanismos neuroanatómicos del aprendizaje profundo y superficial ha proporcionado una visión amplia de cómo estas dos modalidades cognitivas activan diferentes redes neuronales y qué implicaciones tiene esto para la enseñanza y el aprendizaje en general.¹⁹ Aunque el aprendizaje ha sido tradicionalmente estudiado desde una perspectiva cognitiva y conductual, los avances recientes en la neurociencia nos han permitido profundizar en las bases biológicas que subyacen a estos procesos. Específicamente, el uso de técnicas avanzadas de neuroimagen ha sido crucial para identificar las áreas cerebrales implicadas en el procesamiento de información a diferentes niveles de profundidad.^{20,21}

En términos generales, el aprendizaje superficial está mayormente asociado con la activación de estructuras relacionadas con la memoria a corto plazo y el procesamiento básico de la información.

La corteza prefrontal ventrolateral, junto con el hipocampo, es clave en la retención de información en este tipo de aprendizaje.

La memoria declarativa, vinculada al hipocampo, juega un papel fundamental en el almacenamiento temporal de conceptos o datos que no requieren un procesamiento profundo ni una reflexión crítica.^{22,23} De hecho, estudios señalan que la amígdala y otras estructuras límbicas, asociadas con respuestas emocionales rápidas, también están involucradas en la consolidación de memorias basadas en experiencias pasajeras, lo que refuerza la idea de que el aprendizaje superficial está estrechamente vinculado a redes neuronales más simples y menos integradas.

Por otro lado, el aprendizaje profundo presenta un perfil mucho más complejo y exige la participación de diversas áreas corticales y subcorticales. La corteza prefrontal dorsolateral, una región crucial para el pensamiento abstracto y la toma de decisiones complejas, es una de las estructuras más activadas durante el aprendizaje profundo. Esta región es responsable de la integración de nueva información con experiencias previas, lo que facilita la generación de nuevas asociaciones y la construcción de un conocimiento más robusto.^{24,25} Además, el aprendizaje profundo involucra el hipocampo, no sólo para la consolidación de la memoria, sino también para la reorganización de la información y su integración en redes cognitivas más amplias. Estudios en resonancia magnética funcional (fMRI) han demostrado que, durante el aprendizaje profundo, se activan regiones como los núcleos de la base, el tálamo y la corteza cingulada anterior, lo que sugiere que el proceso de aprendizaje implica la coordinación de diversas funciones cognitivas, emocionales y sensoriales.²⁶

La neurociencia cognitiva ha encontrado que el aprendizaje profundo también está vinculado a un mayor grado de plasticidad neuronal, lo que permite a las personas no sólo adquirir nuevos conocimientos, sino también adaptar y modificar estructuras cognitivas existentes en función de la nueva información recibida. Este fenómeno de plasticidad es menos evidente en el aprendizaje superficial, donde las conexiones neuronales tienden a ser menos flexibles y se consolidan rápidamente sin permitir un reajuste significativo en la red cognitiva general. En otras palabras, el aprendizaje superficial tiende a ser más estático, mientras que el profundo fomenta un ajuste dinámico del cerebro que potencia una comprensión más integrada y duradera del conocimiento.²⁷

Limitaciones del estudio

A pesar de los avances significativos en la comprensión de los mecanismos neuroanatómicos del aprendizaje, la investigación en este campo aún enfrenta importantes desafíos metodológicos. En primer lugar, es necesario destacar que muchas de las técnicas utilizadas para mapear la actividad cerebral, como la resonancia magnética funcional y la tomografía por emisión de positrones,

no proporcionan una imagen completamente precisa de las redes neuronales involucradas en el aprendizaje. Estas técnicas tienen limitaciones temporales y espaciales que dificultan el rastreo exacto de la dinámica cerebral en tiempo real. Por ejemplo, aunque la fMRI permite identificar áreas activas del cerebro durante una tarea cognitiva, no puede captar la temporalidad exacta de la activación neuronal, lo que es crucial para comprender cómo se desarrollan y consolidan las redes neuronales a lo largo del tiempo.^{28,29}

Otra limitación importante es que la mayoría de los estudios se han llevado a cabo en contextos controlados y en muestras poblacionales restringidas, principalmente estudiantes universitarios en contextos académicos formales. Esto presenta un sesgo en los hallazgos, ya que los procesos de aprendizaje pueden variar considerablemente entre diferentes grupos demográficos y en contextos menos formales. Por ejemplo, se ha demostrado que los estudiantes con mayores niveles de motivación intrínseca tienden a activar más áreas asociadas con el aprendizaje profundo, lo que sugiere que factores emocionales y contextuales pueden modular el tipo de aprendizaje que se realiza. Sin embargo, estudios que examinen estas variables contextuales y cómo influyen en las rutas neuroanatómicas aún son escasos.^{30,31}

Asimismo, gran parte de la literatura existente se basa en estudios transversales, los cuales proporcionan una imagen estática de la actividad cerebral. Sin embargo, el aprendizaje es un proceso dinámico que cambia con el tiempo, lo que sugiere la necesidad de estudios longitudinales que exploren cómo las redes neuronales evolucionan y se reorganizan a medida que los individuos consolidan y aplican sus conocimientos. La ausencia de estos estudios longitudinales limita nuestra comprensión de la plasticidad neuronal asociada con el aprendizaje profundo, ya que no se han explorado suficientemente los mecanismos que permiten la transferencia del conocimiento adquirido a nuevos contextos o su retención a largo plazo.³²

Otra limitación importante es el sesgo de publicación. Es más probable que los estudios que encuentran correlaciones significativas entre áreas específicas del cerebro y el aprendizaje sean publicados, mientras que aquellos que no hayan relaciones claras tienden a permanecer sin publicar. Este sesgo puede distorsionar la percepción general sobre la relación entre las estructuras neuroanatómicas y los tipos de aprendizaje, dando la falsa impresión de que el aprendizaje profundo siempre involucra ciertas áreas cerebrales sin considerar la variabilidad individual y situacional.³³

Implicaciones educativas

Los hallazgos neuroanatómicos sobre el aprendizaje profundo y superficial tienen profundas implicaciones para el diseño de estrategias educativas. La evidencia sugiere que los enfoques de

enseñanza que promueven el pensamiento crítico, la integración de conocimientos y el análisis reflexivo favorecen la activación de las áreas cerebrales asociadas con el aprendizaje profundo. Por ejemplo, las metodologías basadas en la resolución de problemas, el aprendizaje basado en proyectos y la enseñanza colaborativa han demostrado ser particularmente eficaces para fomentar un procesamiento cognitivo profundo.^{33,34} Estas estrategias educativas no solo mejoran el rendimiento académico, sino que también promueven una mayor retención de información a largo plazo y una mayor capacidad para aplicar los conocimientos adquiridos en contextos nuevos y complejos.³⁵

Además, la neurociencia educativa sugiere que las intervenciones pedagógicas pueden tener un impacto directo en la estructura y función cerebral.³⁶⁻³⁸ Programas educativos que enfatizan el aprendizaje profundo pueden, de hecho, aumentar la conectividad neuronal en áreas clave para el procesamiento de la información y la resolución de problemas.³⁹ Esto refuerza la idea de que la educación no es solo un proceso de transmisión de información, sino también un mecanismo para moldear y reorganizar las redes neuronales en función de las experiencias de aprendizaje.⁴⁰

No obstante, las implicaciones prácticas de estos hallazgos aún no se han traducido completamente en la práctica educativa. En muchos entornos académicos, el aprendizaje superficial sigue siendo la norma, en parte debido a la estructura misma de los sistemas educativos, que a menudo priorizan la memorización y la repetición en lugar del análisis crítico y la comprensión profunda.⁴¹ Para promover un cambio hacia el aprendizaje profundo, es fundamental que las instituciones educativas adopten enfoques didácticos más integrados que fomenten la reflexión, la creatividad y la capacidad de aplicar conocimientos en situaciones prácticas.⁴²

Futuras líneas de investigación

Dado el estado actual de la investigación sobre las bases neuroanatómicas del aprendizaje, las futuras líneas de estudio deberían centrarse en varios aspectos clave.⁴³ En primer lugar, es esencial llevar a cabo más estudios longitudinales que permitan rastrear la evolución de las redes neuronales involucradas en el aprendizaje profundo y superficial a lo largo del tiempo.⁴⁴ Estos estudios ayudarían a clarificar cómo los diferentes enfoques de aprendizaje afectan la plasticidad neuronal y qué tipos de intervenciones educativas pueden promover cambios duraderos en la estructura cerebral.⁴⁵

En segundo lugar, es importante explorar cómo variables individuales, como la motivación, las emociones y las diferencias culturales, modulan los procesos de aprendizaje.⁴⁶ Aunque ya se ha demostrado que la motivación intrínseca puede afectar el tipo de aprendizaje que se realiza, todavía se necesita más investigación para comprender cómo estas variables interactúan con las

estructuras neuroanatómicas involucradas en el aprendizaje.⁴⁷ La inclusión de muestras más diversas también es crucial para garantizar que los hallazgos sean generalizables a diferentes contextos educativos y grupos demográficos.⁴⁸

Además, el desarrollo de tecnologías emergentes, como la estimulación cerebral no invasiva, ofrece una nueva vía prometedora para explorar cómo se pueden modular las redes neuronales asociadas al aprendizaje profundo.⁴⁹ Investigaciones preliminares han mostrado que la estimulación de áreas como la corteza prefrontal puede mejorar la capacidad de los estudiantes para resolver problemas complejos y aplicar conocimientos en nuevas situaciones, lo que sugiere que las intervenciones neurológicas podrían convertirse en una herramienta útil en el futuro para mejorar el rendimiento académico.⁵⁰

CONCLUSIONES

La presente revisión de literatura ha permitido una comprensión más profunda de las vías neuroanatómicas implicadas en el aprendizaje profundo y superficial, resaltando cómo distintas estructuras cerebrales contribuyen a estos procesos y cómo su activación difiere de acuerdo con el tipo de aprendizaje involucrado. Los hallazgos sugieren que el aprendizaje profundo, que se caracteriza por la reflexión crítica, la integración significativa de conocimientos y la formación de conexiones duraderas, implica la activación de áreas complejas como la corteza prefrontal dorsolateral, el hipocampo y la corteza cingulada anterior. Estas estructuras desempeñan un rol esencial en la consolidación de la memoria a largo plazo y en la capacidad de aplicar el conocimiento en contextos diversos, favoreciendo un aprendizaje robusto y adaptable.

Por otro lado, el aprendizaje superficial, orientado principalmente a la memorización sin una reflexión crítica, depende de redes neuronales más simples y menos integradas, como la amígdala y otras áreas del sistema límbico. Estas redes facilitan una retención de corto plazo pero con menor impacto en la consolidación prolongada y en la transferencia de conocimientos a otros contextos. Este tipo de activación neuroanatómica limita el impacto del aprendizaje superficial en el desarrollo cognitivo integral. Las diferencias observadas en los patrones de activación entre el aprendizaje profundo y superficial subrayan la importancia de desarrollar e implementar métodos que estimulen las vías neuronales asociadas al aprendizaje profundo, favoreciendo así la retención de conocimientos y su aplicación en entornos académicos y profesionales.

Además, la evidencia revisada destaca la importancia de la plasticidad neuronal en el aprendizaje profundo, permitiendo que las conexiones en regiones clave se adapten y reorganicen en respuesta a experiencias de aprendizaje significativas. Esta plas-

ticidad no solo refuerza la consolidación del conocimiento, sino que también incrementa la flexibilidad cognitiva y la capacidad de integrar nueva información. En consecuencia, las metodologías que fomentan el pensamiento crítico, la resolución de problemas y el aprendizaje basado en proyectos se presentan como enfoques efectivos para activar estas áreas cerebrales y optimizar las habilidades de aprendizaje y el rendimiento a largo plazo.

En conclusión, esta revisión enfatiza la necesidad de enfoques de enseñanza que no solo estimulen áreas cerebrales críticas como la corteza prefrontal y el hipocampo, sino que también promuevan el aprendizaje profundo, dado su impacto positivo en la retención y aplicación del conocimiento. Se recomienda además continuar investigando cómo factores individuales, tales como la motivación y el contexto educativo, modulan la activación de estas rutas neuroanatómicas. Estos hallazgos pueden informar el diseño de intervenciones pedagógicas basadas en evidencia neurocientífica, mejorando así la eficacia del aprendizaje en diferentes contextos educativos y profesionales.

REFERENCIAS

1. Marton F, Säljö R. On qualitative differences in learning: I—outcome and process. *Br J Educ Psychol.* 1976; 46(1):4-11.
2. Slotnick SD. The hippocampus and long-term memory. *Cogn Neurosci.* 2022; 13(3-4):181-92. DOI: 10.1080/17588928.2022.2128736
3. Wachinger C, Reuter M, Klein T. DeepNAT: Deep convolutional neural network for segmenting neuroanatomy. *Neuroimage.* 2018; 170:434-45. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2017.02.035
4. Jeon HA, Anwender A, Friederici AD. Functional network mirrored in the prefrontal cortex, caudate nucleus, and thalamus: high-resolution functional imaging and structural connectivity. *J Neurosci.* 2014; 34(28):9202-12. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0228-14.2014
5. Svirko E, Mellanby J. Attitudes to e-learning, learning style and achievement in learning neuroanatomy by medical students. *Med Teach.* 2008; 30(3):219-27. DOI: 10.1080/01421590802334275
6. Richardson JTE. Approaches to learning or levels of processing: What did Marton and Säljö (1976a) really say? *Interchange.* 2015; 46:239-69.
7. Hampshire A, Daws RE, Neves ID, Soreq E, Sandrone S, Violante IR. Probing cortical and sub-cortical contributions to instruction-based learning: Regional specialisation and global network dynamics. *Neuroimage.* 2019; 192:88-100. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.03.002
8. Yonelinas AP, Hawkins C, Abovian A, Aly M. The role of recollection, familiarity, and the hippocampus in episodic and working memory. *Neuropsychologia.* 2024; 193:108777. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2023.108777
9. Wais PE, Montgomery O, Stark CEL, Gazzaley A. Evidence of a causal role for mid-ventrolateral prefrontal cortex based functional networks in retrieving high-fidelity memory. *Sci Rep.* 2018; 8(1):14877. DOI: 10.1038/s41598-018-33164-w

10. Barredo J, Öztekin I, Badre D. Ventral fronto-temporal pathway supporting cognitive control of episodic memory retrieval. *Cereb Cortex*. 2015; 25(4):1004-19. DOI: 10.1093/cercor/bht291
11. Parra-Bolaños N. Impacto de las técnicas de neuroimagen en las ciencias sociales. *Revista Chilena de Neuropsicología*. 2015; 10(1):31-37.
12. Yang J, Li P. Brain networks of explicit and implicit learning. *PLoS One*. 2012; 7(8). DOI: 10.1371/journal.pone.0042993
13. Fabro VAP, Iungman DJ, Díaz GY. La enseñanza en Neuroanatomía mediante la combinación de recursos tradicionales y dispositivos multimediales. *Revista Cubana de Educación Médica Superior*. 2021; 35(1):1-18.
14. Henao-Zárate CR. Evaluación del aprendizaje para el desarrollo de competencias. Narcea. Madrid. En *Evaluación Aprendizaje Sena*. Disponible en: <https://evaluacionaprendizajesena.wikispaces.com> consultado 15 enero 2017.
15. Jeon HA, Anwender A, Friederici AD. Functional network mirrored in the prefrontal cortex, caudate nucleus, and thalamus: high-resolution functional imaging and structural connectivity. *J Neurosci*. 2014; 34(28):9202-12. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0228-14.2014
16. Schott BH, Wüstenberg T, Wimber M, Fenker DB, Zierhut KC, Seidenbecher CI, *et al*. The relationship between level of processing and hippocampal-cortical functional connectivity during episodic memory formation in humans. *Hum Brain Mapp*. 2013; 34(2):407-24. DOI: 10.1002/hbm.21435
17. Barredo J, Öztekin I, Badre D. Ventral fronto-temporal pathway supporting cognitive control of episodic memory retrieval. *Cereb Cortex*. 2015; 25(4):1004-19. DOI: 10.1093/cercor/bht291
18. Hampshire A, Daws RE, Neves ID, Soreq E, Sandrone S, Violante IR. Probing cortical and sub-cortical contributions to instruction-based learning: Regional specialisation and global network dynamics. *Neuroimage*. 2019; 192:88-100. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.03.002
19. Combrisson E, Basanisi R, Gueguen MCM, Rheims S, Kahane P, Bastin J, Brovelli A. Neural interactions in the human frontal cortex dissociate reward and punishment learning. *Elife*. 2024; 12:RP92938. DOI: 10.7554/eLife.92938
20. Bick SK, Patel SR, Katnani HA, Peled N, Widge A, Cash SS, Eskandar EN. Caudate stimulation enhances learning. *Brain*. 2019; 142(10):2930-2937. DOI: 10.1093/brain/awz254. Erratum in: *Brain*. 2019; 142(12):e74. DOI: 10.1093/brain/awz312
21. Jeon HA, Anwender A, Friederici AD. Functional network mirrored in the prefrontal cortex, caudate nucleus, and thalamus: high-resolution functional imaging and structural connectivity. *J Neurosci*. 2014; 34(28):9202-12. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0228-14.2014
22. Wang KS, Smith DV, Delgado MR. Using fMRI to study reward processing in humans: past, present, and future. *J Neurophysiol*. 2016; 115(3):1664-78. DOI: 10.1152/jn.00333.2015
23. Yang J, Li P. Brain networks of explicit and implicit learning. *PLoS One*. 2012; 7(8):e42993. DOI: 10.1371/journal.pone.0042993
24. Eliassen JC, Lamy M, Allendorfer JB, Boespflug E, Bullard DP, Smith MS, Lee JH, Strakowski SM. Selective role for striatal and prefrontal regions in processing first trial feedback during single-trial associative learning. *Brain Res*. 2012; 1458:56-66. DOI: 10.1016/j.brainres.2012.04.010
25. Wais PE, Montgomery O, Stark CEL, Gazzaley A. Evidence of a Causal Role for mid-Ventrolateral Prefrontal Cortex Based Functional Networks in Retrieving High-Fidelity Memory. *Sci Rep*. 2018; 8(1):14877. DOI: 10.1038/s41598-018-33164-w
26. Zhang M, Nathaniel U, Savill N, Smallwood J, Jefferies E. Intrinsic connectivity of left ventrolateral prefrontal cortex predicts individual differences in controlled semantic retrieval. *Neuroimage*. 2022; 246:118760. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2021.118760
27. Barredo J, Öztekin I, Badre D. Ventral fronto-temporal pathway supporting cognitive control of episodic memory retrieval. *Cereb Cortex*. 2015; 25(4):1004-19. DOI: 10.1093/cercor/bht291
28. Eichenbaum H. Prefrontal-hippocampal interactions in episodic memory. *Nat Rev Neurosci*. 2017; 18(9):547-558. DOI: 10.1038/nrn.2017.74
29. Yonelinas A, Hawkins C, Abovian A, Aly M. The role of recollection, familiarity, and the hippocampus in episodic and working memory. *Neuropsychologia*. 2024; 193:108777. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2023.108777
30. Schott BH, Wüstenberg T, Wimber M, Fenker DB, Zierhut KC, Seidenbecher CI, Heinze HJ, Walter H, Düzel E, Richardson-Klavehn A. The relationship between level of processing and hippocampal-cortical functional connectivity during episodic memory formation in humans. *Hum Brain Mapp*. 2013; 34(2):407-24. DOI: 10.1002/hbm.21435
31. Roesler R, McGaugh JL. The Entorhinal Cortex as a Gateway for Amygdala Influences on Memory Consolidation. *Neuroscience*. 2022; 497:86-96. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2022.01.023
32. Roesler R, Parent MB, LaLumiere RT, McIntyre CK. Amygdala-hippocampal interactions in synaptic plasticity and memory formation. *Neurobiol Learn Mem*. 2021; 184:107490. DOI: 10.1016/j.nlm.2021.107490
33. Basu J, Siegelbaum SA. The Corticohippocampal Circuit, Synaptic Plasticity, and Memory. *Cold Spring Harb Perspect Biol*. 2015; 7(11):a021733. DOI: 10.1101/cshperspect.a021733
34. Passingham RE, Lau H. Do we understand the prefrontal cortex? *Brain Struct Funct*. 2023; 228(5):1095-1105. DOI: 10.1007/s00429-022-02587-7
35. Samborska V, Butler JL, Walton ME, Behrens TEJ, Akam T. Complementary task representations in hippocampus and prefrontal cortex for generalizing the structure of problems. *Nat Neurosci*. 2022; 25(10):1314-1326. DOI: 10.1038/s41593-022-01149-8
36. Tang W, Shin JD, Jadhav SP. Multiple time-scales of decision-making in the hippocampus and prefrontal cortex. *Elife*. 2021; 10:e66227. DOI: 10.7554/eLife.66227
37. Meyers EM, Qi XL, Constantinidis C. Incorporation of new information into prefrontal cortical activity after learning working memory tasks. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2012; 109(12):4651-6.

- DOI: 10.1073/pnas.1201022109
38. Murray LJ, Ranganath C. The dorsolateral prefrontal cortex contributes to successful relational memory encoding. *J Neurosci.* 2007; 27(20):5515-22. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0406-07.2007
 39. Huang S, Howard CM, Hovhannisyan M, Ritchey M, Cabeza R, Davis SW. Hippocampal Functions Modulate Transfer-Appropriate Cortical Representations Supporting Subsequent Memory. *J Neurosci.* 2024; 44(1):e1135232023. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1135-23.2023
 40. Olsen RK, Moses SN, Riggs L, Ryan JD. The hippocampus supports multiple cognitive processes through relational binding and comparison. *Front Hum Neurosci.* 2012; 6:146. DOI: 10.3389/fnhum.2012.00146
 41. Kwon M, Lee SW, Lee SH. Hippocampal integration and separation processes with different temporal and spatial dynamics during learning for associative memory. *Hum Brain Mapp.* 2023; 44(9):3873-3884. DOI: 10.1002/hbm.26319
 42. Barredo J, Öztekin I, Badre D. Ventral fronto-temporal pathway supporting cognitive control of episodic memory retrieval. *Cereb Cortex.* 2015; 25(4):1004-19.
 43. Hampshire A, Daws RE, Neves ID, Soreq E, Sandrone S, Violante IR. Probing cortical and sub-cortical contributions to instruction-based learning: Regional specialisation and global network dynamics. *Neuroimage.* 2019; 192:88-100. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.03.002
 44. Combrisson E, Basanisi R, Gueguen MCM, Rheims S, Kahane P, Bastin J, Brovelli A. Neural interactions in the human frontal cortex dissociate reward and punishment learning. *Elife.* 2024; 12:RP92938. DOI: 10.7554/eLife.92938
 45. Bick SK, Patel SR, Katnani HA, Peled N, Widge A, Cash SS, Eskandar EN. Caudate stimulation enhances learning. *Brain.* 2019; 142(10):2930-2937. DOI: 10.1093/brain/awz254. Erratum in: *Brain.* 2019; 142(12):e74. DOI: 10.1093/brain/awz312
 46. Jeon HA, Anwender A, Friederici AD. Functional network mirrored in the prefrontal cortex, caudate nucleus, and thalamus: high-resolution functional imaging and structural connectivity. *J Neurosci.* 2014; 34(28):9202-12. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0228-14.2014
 47. Zhang J, He Y, Liang S, Liao X, Li T, Qiao Z, Chang C, Jia H, Chen X. Non-invasive, opsin-free mid-infrared modulation activates cortical neurons and accelerates associative learning. *Nat Commun.* 2021; 12(1):2730. DOI: 10.1038/s41467-021-23025-y
 48. Au J, Katz B, Buschkuehl M, Bunarjō K, Senger T, Zabel C, Jaeggi SM, Jonides J. Enhancing Working Memory Training with Transcranial Direct Current Stimulation. *J Cogn Neurosci.* 2016; 28(9):1419-32. DOI: 10.1162/jocn_a_00979
 49. Simonsmeier BA, Grabner RH, Hein J, Krenz U, Schneider M. Electrical brain stimulation (tES) improves learning more than performance: A meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev.* 2018; 84:171-181. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2017.11.001
 50. Arif Y, Spooner RK, Heinrichs-Graham E, Wilson TW. High-definition transcranial direct current stimulation modulates performance and alpha/beta parieto-frontal connectivity serving fluid intelligence. *J Physiol.* 2021; 599(24):5451-5463. DOI: 10.1113/JP282387