

**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**



**APORTES DEL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS (ABP) Y LA
NEUROBIOLOGÍA DEL APRENDIZAJE A LA ENSEÑANZA DE LA
MEDICINA HOY**

Gabriel Adolfo Centanaro Meza
Gabriel Hernández Kunzel
Ana Jeannette Montañez Niño
Héctor Manuel Orjuela Pérez

MONOGRAFÍA realizada para optar por el Título de
ESPECIALISTA EN DOCENCIA UNIVERSITARIA

Asesor:
M. Ed. Catherine Esteban Ojeda
Psicóloga, Docente
Asesora Pedagógica y Consultora

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE EDUCACIÓN Y HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE DOCENCIA
BOGOTÁ, COLOMBIA
Octubre 2012**

Aportes del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) y la neurobiología del aprendizaje a la enseñanza de la medicina hoy

Gabriel Adolfo Centanaro Meza¹

Gabriel Hernández Kunzel²

Ana Jannette Montañez Niño³

Héctor Manuel Orjuela Pérez⁴

RESUMEN

El presente trabajo busca explicar cómo los principios derivados de lo que se ha aprendido sobre la neurobiología del aprendizaje y la memoria pueden ser aplicados para mejorar las estrategias de enseñanza de la medicina como el aprendizaje basado en problemas (ABP). Los autores presentan las bases neurobiológicas del ABP como modelo pedagógico y didáctico, y como utilizarlas mejor para alcanzar un aprendizaje significativo, con el fin de fortalecer y facilitar su aplicación en las instituciones universitarias. Para esto se tomaron aportes de la neurobiología y de la aplicación de modernas técnicas de neuroimagenología funcional para describir el funcionamiento de los cambios estructurales que ocurren en el cerebro durante el aprendizaje, desde un enfoque celular y molecular, aportes de la neurodidáctica y la neuroeducación, del constructivismo, de la epistemología genética de Piaget, de la inteligencia emocional de Goleman, de la narrativa social de Vigotsky, de la integración de los modelos biológicos de Barco y Kandel hasta el aprendizaje significativo de Ausubel. Los autores concluyen que al aplicar estos aportes de la neurobiología del aprendizaje a la educación, se pueden lograr estrategias didácticas más efectivas y utilizar mejor el ABP en la enseñanza de la medicina.

Palabras Clave: *ABP, aprendizaje, neurobiología, neuroeducación, neurodidáctica, psicobiología, sociobiología, enseñanza, medicina.*

¹ Médico Cirujano, Neurólogo, Bioeticista, 92497852, 1500914, gabriel.centanaro@unimilitar.edu.co

² Médico Cirujano, Psiquiatra, 79437799, 1500919, gabhek@gmail.com

³ Médico Cirujano, Especialista Salud Ocupacional, 51590209, 1500921, ana.montanez@unimilitar.edu.co.

⁴ Médico Cirujano, Ortopedista, Esp. en Prótesis y Amputados, 93126497, 1500925, hemano1982@gmail.com

Contributions of Problem Based Learning (PBL) and the neurobiology of learning to the education in medicine today

*Gabriel Adolfo Centanaro Meza*⁵

*Gabriel Hernández Kunzel*⁶

*Ana Jannette Montañez Niño*⁷

*Héctor Manuel Orjuela Pérez*⁸

ABSTRACT

The present work seeks for to explain how the principles derived from which it has learned on the neurobiology of the learning and the memory can be applied to improve the strategies of education in medicine like the problem based learning (PBL). The authors present the neurobiology bases of the PBL like pedagogical and didactic model, and using them better to reach a significant learning, with the purpose of fortifying and facilitating their application in the university institutions. For this contributions were taken from the neurobiology and the application of modern techniques of functional neuroimaging to describe the operation of the structural changes that happen in the brain during the learning from a cellular and molecular approach, contributions of the neurodidactics and neuropedagogy, the constructivism, the genetic epistemology of Piaget, the emotional intelligence of Goleman, the social narrative of Vigotsky, the integration of the biological models of Barco and Kandel until the significant learning of Ausubel. The authors conclude that the application of these contributions from the neurobiology of learning, can achieve more effective teaching strategies and make better use of PBL in medical education.

Keywords: PBL, learning, neurobiology, neuroeducation, neurodidactics, psychobiology, sociobiology, education, medicine.

⁵ Physician, Neurologist, Bioethicist, 92497852, 1500914, gabriel.centanaro@unimilitar.edu.co

⁶ Physician, Psychiatrist, 79437799, 1500919, gabhek@gmail.com

⁷ Physician, Occupational Health Specialist, 51590209, 1500921, ana.montanez@unimilitar.edu.co

⁸ Physician, Orthopedic, Prosthetic and Amputees Specialist, 93126497, 1500925, hemano1982@gmail.com

INTRODUCCION

El ejercicio de la Medicina exige al estudiante de medicina el aprendizaje de determinadas competencias profesionales que deben ser alcanzadas durante su formación y que brinden autonomía y pensamiento crítico para desempeñarse en la sociedad y en el ejercicio de su profesión.

Las dificultades que atraviesa la actual enseñanza de la medicina nos han obligado a revisar y a redefinir las estrategias de enseñanza tradicionales, como lo han sido dividir radicalmente el aprendizaje en un ciclo de ciencias básicas y otro de ciencias clínicas, la imposición de saberes basados en la autoridad del docente con un currículo enciclopedista, un aprendizaje memorístico, etc., planteándonos todo esto un verdadero reto educativo.

Es evidente en nuestras instituciones las frecuentes dificultades que presentan los estudiantes de medicina para integrar los conocimientos básicos con los clínicos. Es necesario encontrar una mejor estrategia didáctica y pedagógica para alcanzar un aprendizaje significativo en la carrera de medicina en su fase de ciencias básicas y poder facilitar la integración de éstas con las clínicas.

El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) es un enfoque pedagógico que transformó la práctica en la educación. Combinado con las estrategias didácticas de base neurobiológica comprobadas como efectivas en la enseñanza de la medicina, se constituye en un poderoso enfoque que ayuda desde los primeros semestres a los estudiantes y tutores a aprender-a-aprender, fortaleciendo habilidades, como el razonamiento crítico, la interacción social y la meta cognición.

El ABP es una estrategia que tiene bases neurobiológicas comprobadas. Esto sumado a las investigaciones de las diez técnicas didácticas efectivas aplicadas a la enseñanza de la medicina hacen pensar que sería ideal, el realizar un modelo pedagógico con estos principios desde el primer semestre de medicina para impactar el proceso de aprendizaje desde el inicio de la carrera.

El principal objetivo de este trabajo es explicar las bases neurobiológicas del ABP como estrategia pedagógica y didáctica, y como utilizarlo mejor para alcanzar un aprendizaje significativo en el estudiante de medicina para así poder fortalecer y facilitar su aplicación en las Instituciones Universitarias, especialmente desde los primeros semestres.

NEUROBIOLOGÍA DEL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS

Desde hace varios años, muchos investigadores han tratado de explicar mediante modelos biológicos como se realiza en los seres humanos la fijación de la memoria desde el punto de vista de un aprendizaje significativo y como se construye un conocimiento sólido y perdurable a largo plazo. Ejemplo de estos trabajos son los de Ángel Barco y Eric Kandel, Premio Nobel de Medicina en el año 2000 (Barco, Pittenger, & Kandel, 2003) (Kandel, 2002).

Estos trabajos investigan como se construyen las memorias y como se produce el aprendizaje en el contexto del ambiente social, relacionando esto con los conceptos de condicionamiento clásico, condicionamiento operante, auto monitoreo, autorregulación y auto eficacia e integrandolo con otros modelos biológicos, tratando de explicar la relación mente-cerebro en términos biológicos y moleculares y por la interacción de genes, sinapsis y ambiente, los cuales determinan conexiones neuronales que son modificadas por la experiencia en el contexto social (PHD, 2009).

Aprender es la habilidad de modificar el comportamiento en respuesta a las experiencias e implica un cambio relativamente permanente en la conducta como una función de entrenamiento y de práctica por la experiencia. El concepto de memoria y de aprendizaje está implícito en la definición de neuroplasticidad y es la propiedad de la naturaleza y funcionamiento de las neuronas en respuesta a la influencia de los estímulos del ambiente de tener la capacidad para guardar la modificación de lo aprendido por un período de tiempo “relativamente permanente” mediante una alteración perdurable de la estructura y/o función del sistema nervioso.

La plasticidad cerebral hace referencia a los cambios funcionales y estructurales del cerebro en respuesta a la experiencia. El aprendizaje modifica la estructura física del cerebro, los cambios estructurales alteran su organización sensorial y ejecutiva. El grado de plasticidad cerebral depende, de la edad, de la zona del cerebro considerada, del grado de estimulación, de los factores emocionales, de la existencia o no de lesiones y finalmente de factores genéticos “por lo cual el hombre no es una tabla rasa”.

La naturaleza de las memorias, su substrato anatómico y los mecanismos que subyacen a su formación, son la base de cualquier tipo de aprendizaje. Existe un tipo de memoria que resiste inamovible el paso de los años mientras otras son frágiles y desaparecen en minutos (Barco A. , 2010). El tipo de aprendizaje que logra la formación de estas memorias permanentes se conoce como aprendizaje significativo y según el teórico norteamericano David Ausubel, este es el tipo de aprendizaje en que un estudiante relaciona la información nueva con la que ya posee, reajustando y reconstruyendo ambas informaciones en este proceso (Ausubel D. P., 1960). Dicho de otro modo, la estructura de los conocimientos previos condiciona los nuevos

conocimientos y experiencias, y éstos, a su vez, modifican y reestructuran aquellos. Este concepto y teoría están enmarcados en el marco de la psicología constructivista.

Lo cierto es que los sucesos asociados a momentos de alta carga emocional tienden a ser recordados de forma espontánea con particular intensidad. En otros casos, la formación de recuerdos persistentes no es inconsciente y requiere esfuerzo por nuestra parte. Su persistencia sólo se consigue mediante repetición. Realmente la memoria es un proceso dinámico, donde la información representada está sujeta a nuestra experiencia personal previa, al contexto del momento del aprendizaje, a los eventos posteriores, al nivel de atención, al estrés y a otros factores (Van Merriënboer & Sweller, 2010).

La estrategia de aprendizaje basado en problemas (ABP) tiene como base procesos de aprendizaje significativo que tiene una base molecular y biológica hoy conocida. Estos procesos generan aprendizaje significativo bien estructurado, sólido y perdurable a través del tiempo, lo cual es fundamental en medicina. La teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel, se diferencia del aprendizaje por repetición o memorístico, pues este último es simplemente una incorporación de datos que carecen de significado para el estudiante, ya que no se relacionan los unos con los otros (Ausubel D. N., 1978).

Las bases fisiológicas del aprendizaje significativo están relacionadas con procesos bien conocidos de la memoria y del aprendizaje:

La Memoria de corto plazo: pequeñas cantidades de información, retenidas por 20 a 30 segundos, la cual requiere de la indemnidad de estructuras del lóbulo temporal, en especial el hipocampo y la corteza entorrinal. Estas estructuras constituyen una estación de paso para la memoria de largo plazo.

La Memoria de largo plazo: almacenamiento de cantidades ilimitadas de información por décadas, la cual se almacena en las zonas subcorticales de las áreas de asociación de los lóbulos frontal, parietal y temporal y depende de la importancia emocional de la información y de la repetición.

La Codificación: es el primer proceso del aprendizaje y ocurre durante el primer encuentro y es clave para el posterior recuerdo de la información, requiriendo que ella sea codificada con detalle y profundidad. Para esto se requiere prestar atención, relacionar con el conocimiento previo y altos niveles de motivación. El ABP requiere de la codificación.

La Consolidación: es el segundo proceso del aprendizaje; se modifica la información reciente para hacerla estable, mecanismo que requiere de expresión génica y formación de nuevas proteínas. En este proceso se modifica la estructura de las terminaciones sinápticas (plasticidad sináptica).

El Almacenamiento y Recuperación: los anteriores procesos culminan con las etapas de almacenamiento y posterior recuperación.

Con el ABP se promueve un estilo de aprendizaje activo con énfasis en el proceso de enseñanza-aprendizaje, asignando un rol activo a los estudiantes y fomentando un aprendizaje colaborativo, el cual brinda una herramienta muy útil a los estudiantes, no sólo para obtener el conocimiento de una manera constructivista y holística, (consolidación), sino para enfrentar los problemas a los que se verán retados en su vida profesional (motivación).

El ABP es una metodología diseñada en los años 60s centrada en el aprendizaje, en la investigación y análisis que hacen los estudiantes para resolver un problema planteado por un tutor o profesor de un área específica del conocimiento. Esta metodología ayuda a que el alumno desarrolle y trabaje competencias enfocadas a resolver problemas de cierta complejidad, encadenando una serie de estrategias de manera coordinada. Se fundamenta en la resolución de problemas, en la toma de decisiones, en el trabajo en equipo, en el desarrollo de habilidades de comunicación donde se argumenta y se presenta la información y en el desarrollo de actitudes y valores como la precisión y la tolerancia.

Son características y fortalezas de la metodología del ABP, el estar centrada en el alumno y en su aprendizaje, el trabajar en grupos pequeños entre 5 a 8 personas, ser holística como punto de interrelación, confluencia y de integración de varias materias o disciplinas académicas constituyéndose en una poderosa estrategia más dentro del proceso de enseñanza y de aprendizaje significativo. Algunas ventajas adicionales de la metodología, son el desarrollo de una comunicación efectiva, el desarrollo del sentimiento de pertenencia grupal, el manejo eficiente de diferentes fuentes de información y la participación pertinente para la toma de decisiones.

Esto en el medio del estudio de las ciencias básicas en medicina es un proceso complejo por medio del cual el docente busca alcanzar al máximo el desarrollo armónico de las diversas potencialidades del estudiante como ser humano y permite que construya su propio aprendizaje y aprenda a aprender, internalizando este aprendizaje de tal manera que se extienda al resto de su vida, tanto en su práctica profesional como la vida personal (Van Merriënboer & Sweller, 2010).

El aprendizaje significativo ocurre cuando una nueva información "se conecta" con un concepto relevante pre existente en la estructura cognitiva, esto implica que, las nuevas ideas, conceptos y proposiciones pueden ser aprendidos significativamente en la medida en que otras ideas, conceptos o proposiciones relevantes estén adecuadamente claras y disponibles en la estructura cognitiva del individuo y que funcionen como un punto de "anclaje" a las primeras.

El ser humano se desenvuelve en un medio social del cual no puede abstraerse; los procesos psicobiológicos en el cual se educa y aprende, se generan en un contexto histórico, cultural y geográfico. La sociobiología, que estudia los factores genéticos y los

procesos neurofisiológicos que interactúan con los factores ambientales que modelan la conducta y el aprendizaje humano, ha permitido establecer que existe en los seres humanos una “*capacidad o habilidad inclusiva*” o “inclusive fitness” según W. D. Hamilton (Hamilton, *The Genetical Evolution of Social Behaviour*, 1964) (Hamilton, *Innate Social Aptitudes of Man: an Approach from Evolutionary Genetics*, 1975), la cual se entiende como un éxito reproductivo constituido por la suma del éxito individual genético dentro de las líneas familiares, en un ambiente determinado. Es decir, el ser humano en su proceso de evolución ha incorporado implícitamente en su ser biológico un modelo de ABP que aplica para resolver problemas, para su supervivencia en la interacción social. Así, el ABP, es un aprendizaje significativo que surge como medio de aprendizaje adaptativo fundamentado en lo social y en lo biológico.

La conducta es modelada por la selección natural como parte de un complejo proceso adaptativo de evolución y de adaptación al ambiente, estos procesos adaptativos se encuentran en los genes y en el cerebro, donde el hombre como ser individual y como especie al adaptarse “aprende”, por lo que un determinado comportamiento innato tiene una significación adaptativa: el ser humano pudo “aprender y guardar” en su memoria en base a su genética molecular estos comportamientos.

Los mecanismos más importantes a través de los cuales el medio altera la conducta de los seres humanos son el aprendizaje y la memoria. Somos lo que somos por lo que aprendemos y por lo que recordamos. El aprendizaje y la memoria son procesos interdependientes imposibles de separar. No se puede afirmar que la memoria constituye un proceso aislado, en vista de su relación con los mecanismos neuronales del aprendizaje. La medida de lo aprendido se relaciona con la memoria, y ésta es la expresión de la capacidad para recuperar la información adquirida.

Si entendemos el aprendizaje como el proceso natural que un organismo requiere para reordenar sus sistemas de citoarquitectura interna a través de ensamblar patrones, asignar significados y clasificar las experiencias diarias de la vida en un número extraordinario de claves para sobrevivir, es indudable que para realizar estas operaciones, se requiere de la memoria.

Gracias al aprendizaje, los seres humanos y los animales adquieren conocimientos sobre su entorno, pero esa información debe ser almacenada para poder aprender de la experiencia o utilizarla en la resolución de problemas: la memoria está en directa relación con el procesamiento de la información.

El aprendizaje lleva a cambios estructurales y funcionales en la red de neuronas interconectadas a través de sinapsis, en una variedad de sitios a lo largo del sistema nervioso central. Por ejemplo, algunos de los eventos biológicos que fueron observados muy tempranamente en la investigación de la neurobiología del aprendizaje incluyen

cambios en la eficiencia de la transmisión sináptica entre las neuronas en las áreas del cerebro que se sabe están asociadas con la formación de memoria nueva (Lee & Silva, 2009).

Estudios recientes han demostrado que los cambios ocurridos durante el aprendizaje involucran una variedad de modificaciones de proteínas localizadas en la proximidad a contactos sinápticos y que pueden aumentar la fuerza de señales provenientes de un potencial de acción o impulso nervioso presináptico en la neurona postsináptica (Pennartz, Berke, & Graybiel, 2009). Aunque todavía hay discusión sobre la relación causal directa de estas modificaciones sinápticas en los procesos de aprendizaje y de la conducta, aunque existe una considerable evidencia obtenida del estudio con animales de laboratorio que apoya esta relación.

Estos trabajos demuestran un vínculo directo entre la fuerza y/o la repetición de la información que hay que aprender y la persistencia de los cambios en el sistema nervioso central que acompañan a dicho aprendizaje. Por ejemplo, la activación repetida de vías neuronales que participan en el aprendizaje con estímulos o pruebas frecuentes y adecuadamente espaciadas conduce a una cascada de señales moleculares que son diferentes y más persistentes que las que acompañan a estímulos o pruebas menos repetidas y a intervalos más breves. Los cambios funcionales en la eficacia de la comunicación entre neuronas individuales y redes de neuronas son también acompañados por cambios sustanciales en la estructura del circuito global del cerebro, el cual se pensaba que era inmutable en los adultos (Friedlander, Armstrong, & Andrews, 2011).

En 1982, Francis Crick planteó la cuestión de si los elementos contráctiles dentro de las prolongaciones dendríticas de las neuronas podrían desempeñar un papel dinámico en la alteración de la conectividad anatómica entre las neuronas a nivel pre y postsináptico, esencialmente “reconectando al cerebro” sobre la marcha para satisfacer las “demandas computacionales” del mismo (Crick, 1982). Desde entonces, los avances tecnológicos en imagenología óptica del cerebro vivo han demostrado este proceso de crecimiento, retracción, y modificación de conectividad sináptica entre las neuronas.

Más aún, se ha establecido que el cerebro maduro puede generar nuevas neuronas (Li & Pleasure, 2010). Tal neurogénesis ocurre en el giro dentado del hipocampo, aunque las implicaciones funcionales de estas nuevas neuronas y su contribución potencial al aprendizaje y la memoria no se han aclarado.

Además del enfoque celular y molecular utilizados para describir el funcionamiento de los cambios estructurales que ocurren en el cerebro durante el aprendizaje y la formación de recuerdos, también ha habido un avance considerable en la comprensión del “ordenamiento superior” de estos, basado en estudios de la

cognición humana, incluyendo el aprendizaje y la memoria a través de la aplicación de resonancia magnética funcional (fMRI) al cerebro vivo combinada con modelos computacionales, los que han permitido dilucidar algunas estrategias y mecanismos subyacentes a los procesos neuronales que efectúan estas funciones en el cerebro humano (Crescentini, Shallice, Del Missier, & Macaluso, 2010). Un reto de hoy es poder evaluar los diferentes métodos de enseñanza mediante el uso de la resonancia magnética funcional utilizando modelos de comportamiento específicos y entornos interactivos para poder observar directamente el procesamiento neural y la eficiencia de determinadas redes neurales durante el aprendizaje.

Mediante estas investigaciones se han podido identificar hasta ahora 10 aspectos claves del aprendizaje que creemos puedan ser incorporados como efectivos paradigmas del ABP en la enseñanza de la medicina hoy: Repetición, Recompensa y esfuerzo, Visualización, Compromiso activo, Estrés, Fatiga, Multitarea, Estilos individuales de aprendizaje, Participación activa, Revisar la información y conceptos a través del procesamiento multisensorial (Friedlander, Armstrong, & Andrews, 2011).

Estos principios implican el movimiento hacia estados más complejos de funcionamiento, mediante la auto organización y la capacidad para ser sistemas autosuficientes, flexibles, con funciones adaptativas, coherentes y estables. Los patrones repetidos activan en forma selectiva, de acuerdo al sistema de valores, ciertos perfiles de redes representacionales creando estados atractores y repeledores.

Repetición: El aprendizaje es el resultado de la repetición, de la experiencia reiterada una y otra vez. En otras palabras, es una suerte de ejercicio y el cerebro es algo que tiende a mejorar con el uso (Pfeiffer, 1955). De acuerdo a Kandel (Kandel, 2002) los genes son determinantes sobre los patrones de interconexión entre las neuronas cerebrales y el funcionamiento del mismo. La utilización del ABP produce un aprendizaje más perdurable en términos de la construcción del conocimiento y la adquisición de habilidades que los modelos tradicionales. El ABP, al promover un aprendizaje significativo mediante la experiencia impulsa la integración de los conocimientos al favorecer mediante la motivación el ambiente emocional adecuado y mediante la construcción del conocimiento por parte del alumno con la tutoría del docente garantiza no solo la repetición del conocimiento sino su integración a mayores niveles de complejidad y de aplicabilidad práctica.

Recompensa y esfuerzo: No es posible explicar el aprendizaje sin la componente emocional en el que se realiza. La motivación es fundamental para la realización de un comportamiento cualquiera. Se sabe que los estudiantes que practican el ABP, tiene mayor motivación para el aprendizaje. Los estudiantes de medicina frecuentemente son aprendices ansiosos e inteligentes, y están altamente motivados, sin embargo, deben afrontar enormes demandas de tiempo y atención, y deben tomar frecuentemente decisiones sobre como canalizar mejor sus energías y su atención de la manera más

eficaz. Los estudiantes que obtienen alegría y satisfacción de los objetivos más inmediatos mediante la comprensión de lo aprendido, a medida que avanzan a través de su educación médica, pueden tener una mayor posibilidad de utilizar las capacidades de su cerebro para proporcionar señales intrínsecas de recompensa en forma permanente, y así efectivamente facilitar su propio proceso de aprendizaje. Del mismo modo, los planes de estudio y los instructores que proporcionan una manera de aprovechar esta función biológica estimulando las recompensas más inmediatas, pueden tener más éxito que aquellos que se basan sólo en altas apuestas de lejanas oportunidades de éxito.

Visualización: La visualización es un procedimiento bien conocido para cirujanos y atletas entre otros (Sanders, Sadoski, Bramson, van Walsum, Wiprud, & Fossum, 2008). La actividad generada internamente en el cerebro por los pensamientos, la visualización, la evocación de otros recuerdos y las emociones contribuyen activamente en el proceso de aprendizaje. El estudio, la visualización y la práctica contribuyen también activamente en el aprendizaje. Por otra parte, con la gran innovación tecnológica en la actualidad a disposición de los educadores y estudiantes, en particular para la visualización, estos recursos pueden ser vinculados de forma interactiva con la enseñanza para permitir la mejor utilización de los procesos neurales, e incluso aplicarlos en personas que no han desarrollado adecuadamente éstas habilidades de internalización.

Compromiso activo: Existe una considerable evidencia neurobiológica de que los cambios funcionales en circuitos neuronales que están asociados con aprendizaje ocurren mejor cuando el estudiante está activamente comprometido. La educación en medicina siempre ha apreciado la tradición del alumno como profesor. A lo largo del proceso de enseñanza de la medicina, las estrategias que crean oportunidades de aprendizaje activo incluyen a alumnos que tienen múltiples oportunidades para asumir el papel de docente, el aprendizaje en contextos que favorezcan la interacción y las preguntas entre los alumnos y profesores, alumnos que toman la responsabilidad personal para el descubrimiento de información y la retroalimentación acerca de la información que han reunido y su validez. Estas oportunidades invocan vías de recompensa, producen motivación neural y son también motivo de otro componente biológico importante del proceso de aprendizaje: el estrés.

Estrés y Fatiga: Aunque las consecuencias del estrés son generalmente consideradas indeseables, existe evidencia de que las señales moleculares asociadas con el estrés pueden facilitar la potenciación sináptica en los circuitos cerebrales implicados en la formación de la memoria y también pueden ser comportamiento de refuerzo al aprendizaje (Rozenaal, McEwen, & Chattarji, 2009). Hay una creciente evidencia de la importancia del descanso y del sueño en la consolidación de la memoria y en la mejoría de sus representaciones desde los estadios de memoria de trabajo o de corto plazo a formas de largo plazo más estables (Diekelmann & Born, 2010). En la

aplicación del ABP, para aprender el alumno tiene que manejar un nivel de estrés funcional no incapacitante, donde la disociación cognitiva no lleve a la apatía al estudiante, en un medio enriquecido y estructurado. Este medio ambiente debe ser generado por el docente en el ambiente universitario definido como: el medio que garantiza el bienestar personal, que brinde una sensación de apego seguro dado por la pertenencia institucional y para formar parte de un grupo.

Multitarea: Un descriptor común de la actual generación de los estudiantes médicos es la multitarea. Los estudiantes de hoy pueden enviar mensajes de texto mientras leen, o involucrarse en otras formas de comunicación electrónica mientras están en clase o incluso interactuando con pacientes. Es importante que los métodos de educación integren información multimodal relacionada con el tema, utilizando flujos de información convergentes y relevantes al mismo, lo que anima a mantener la participación y a aumentar la atención, evitando dispersarla. El refuerzo de los conceptos y hechos utilizando diferentes medios al tiempo, involucra varios procesos que pueden facilitar la abstracción y la construcción de marcos integrados de conocimiento, llevando al estudiante a una síntesis más eficaz y a un mejor futuro acceso de la información, para su recuperación e implementación. En resumen, las mismas tecnologías que permiten realizar varias tareas durante el aprendizaje pueden ser usadas para activar y aprovechar los procesos neurales intrínsecos que mejoran el proceso de aprendizaje.

Estilos individuales de aprendizaje: Nacemos disponiendo de ciertos patrones de conexión neuronal, las experiencias individuales en entornos únicos empiezan a actuar sobre aquel patrón de conexión, recortándolo, fortaleciendo ciertas conexiones y debilitando otras. Aprender y generar memoria es simplemente un proceso de tallar, modelar, dar forma, hacer y rehacer los diagramas de conexión de nuestro cerebro individual.

Participación activa: Hay suficiente evidencia de que la participación activa es fundamental cuando se aprenden habilidades y conceptos. El laboratorio y los ambientes de simulación son lugares ricos para el proceso de aprendizaje y para el almacenamiento de la información basados en esas experiencias. En otras palabras, hacer es aprender. El éxito de aprender haciendo refuerza la confianza y esto ha sido demostrado por estudios neurobiológicos recientes.

Revisar la información y conceptos a través de procesamiento multisensorial: El procesamiento multisensorial es utilizado para la detección, decodificación y análisis de la información externa y también para el desarrollo de representaciones de la información generada internamente con el objeto de aprehender y consolidar mejor la información. Por otra parte este procesamiento implica tanto integración unisensorial como multisensorial utilizando diferentes áreas del cerebro, con variaciones individuales en las contribuciones relativas de cada modalidad. Se ha demostrado que

utilizar múltiples enfoques de enseñanza que aborden la misma información con diferentes procesos sensoriales lleva a mejorar el proceso de aprendizaje, ya que posiblemente se logra así un mayor ordenamiento estructural de las redes neurales el cual permite procesar y almacenar la información más adecuadamente.

Conclusiones

Por lo analizado aquí, queda claro que se requiere de una estrecha colaboración entre educadores y neurocientíficos para encontrar las herramientas que permitan que los seres humanos alcancen un orden de pensamiento mucho más alto, y esta es tarea actual de la neuroeducación y la neurodidáctica.

El desarrollo y la organización funcional del cerebro dependen y se benefician con la experiencia. Algunas experiencias tienen efectos más poderosos durante determinados periodos de la vida, siendo necesario aplicar modelos de aprendizaje bien estructurados como el ABP cuyos elementos de aplicación teórica han sido ya analizados.

Dada la relación íntima entre las estructuras cognitivas y las estructuras emocionales del cerebro, el aprendizaje se verá reforzado si se lleva a cabo en un clima emocional adecuado, con el punto medio al mostrar la disociación cognitiva sin estresar demasiado al alumno para que no entre en apatía y lograr motivar el proceso de aprendizaje y construcción autónomos del conocimiento, para que pueda aprender a aprender.

Consideramos que para el docente en medicina hoy es de la mayor importancia conocer, a la luz de la evidencia actual, cómo los principios derivados de lo que se ha aprendido sobre la neurobiología del aprendizaje y la memoria pueden ser aplicados para mejorar las estrategias de enseñanza de la medicina como el ABP, tanto a nivel básico como en la clínica, ya en pregrado, postgrado o en educación continuada, por lo que es de suma importancia la divulgación de las conclusiones de este artículo a nuestra comunidad docente.

Basado en lo aquí tratado, consideramos que la práctica de la docencia en medicina podría mejorarse aplicando el conocimiento actual de la neurobiología del aprendizaje a la educación permanente del profesional de la salud, basar las prácticas de formación del profesorado en los conocimientos actuales de la neurobiología de aprendizaje y en estrategias didácticas efectivas como el ABP desde el primer semestre de la carrera de medicina y establecer un conjunto de herramientas prácticas para la educación médica que apliquen el conocimiento actual de la neurobiología del aprendizaje.

Bibliografía

Diekelmann, S., & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nat Rev Neurosci* , 11, 114 –126.

Ausubel, D. P. (1960). The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. *Journal of Educational Psychology* , 51, 267-272.

PHD, J. E. (2009). Sociobiology and psychiatry. In B. J. Sadock, *Comprehensive Textbook of Psychiatry* (pp. 716-728). Philadelphia, Baltimore, New York, London: Wolters Kluwer/Lippincot. Williams & Wilkins.

Ausubel, D. N. (1978). *Educational Psychology: A Cognitive View* (2 ed.). NewYork: Holt, Rinehart & Winston.

Kandel, E. (2002). The Molecular Biology of Memory Storage: A Dialog Between Genes and Synapses. *Bioscience Reports* , 21, 565 - 611.

Barco, A., Pittenger, C., & Kandel, E. (2003). CREB, memory enhancement and the treatment of memory disorders: promises, pitfalls and prospects. *Expert Opinion on Therapeutic Targets* , 7, 101 - 114.

Lee, Y. S., & Silva, A. J. (2009). The molecular and cellular biology of enhanced cognition. *Nat Rev Neuroscience* , 10, 126 - 140.

Pennartz, C. M., Berke, J. D., & Graybiel, A. M. (2009). Corticostriatal interactions during learning, memory processing, and decision making. *J Neuroscience* , 29, 12831–12838.

Van Merriënboer, J. J., & Sweller, J. (2010). Cognitive load theory in health professional education: Design principles and strategies. *Med Education* , 44, 85 - 93.

Roosendaal, B., McEwen, B. S., & Chattarji, S. (2009). Stress, memory and the amygdala. *Nat Rev Neuroscience* , 10, 423 - 433.

Sanders, C. W., Sadoski, M., Bramson, R., van Walsum, K., Wiprud, R., & Fossum, T. W. (2008). Learning basic surgical skills with mental imagery: Using the simulation centre in the mind. *Med Education* , 42, 607–612.

Barco, A. (2010). La materia de los recuerdos: circuitos neuronales y cascadas moleculares. *Mente y Cerebro* , 40, 24-33.

Hamilton, W. D. (1964). The Genetical Evolution of Social Behaviour. *J. Theor. Biol.* , 7, 1 - 52.

Hamilton, W. D. (1975). Innate Social Aptitudes of Man: an Approach from Evolutionary Genetics. En R. Fox, *Biosocial Anthropology* (págs. 133-153). London: Malaby Press.

Friedlander, M. J., Armstrong, E. G., & Andrews, L. (2011). What can Medical Education learn from the Neurobiology of Learning? *Academic Medicine* , 415 –420.

Li, G., & Pleasure, S. J. (2010). Ongoing interplay between the neural network and neurogenesis in the adult hippocampus. *Current Opinion in Neurobiology* , 20, 126 - 133.

Crick, F. (1982). Do spines twitch? *Trends Neuroscience* , 44 - 46.

Crescentini, C., Shallice, T., Del Missier, F., & Macaluso, E. (2010). Neural correlates of episodic retrieval: An fMRI study of the part-list cueing effect. *Neuroimage* , 50, 678–692.

Pfeiffer, J. (1955). *The human brain*. NEW YORK: Harper.