

ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA NEUROFISIOLOGÍA A TRAVÉS DE UN ENTORNO INTERACTIVO EN ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN FÍSICA MILITAR³⁵⁶

Página | 999

TEACHING-LEARNING OF NEUROPHYSIOLOGY THROUGH AN INTERACTIVE ENVIRONMENT IN MILITARY PHYSICAL EDUCATION STUDENTS

Freddy Rodríguez Saza³⁵⁷

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.³⁵⁸

³⁵⁶ Derivado del proyecto de investigación: Neurociencias y educación. Una aproximación desde el modelo alostérico de aprendizaje.

³⁵⁷ Antropología, Universidad Nacional; Licenciatura en Biología, Universidad Distrital; Especialización en Investigación Criminal, Escuela Nacional de Policía General Santander; Maestría y Doctorado en Antropología, Universidad de los Andes; Maestrante en Historia Militar, Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova; Maestrante en Modelado y Simulación, Universidad Jorge Tadeo Lozano-Universidad Central. Docente ciencias básicas, Facultad de Educación Física Militar, Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova, Bogotá, D.C., Colombia. correo electrónico: freddy.rodriguez@esmic.edu.co

³⁵⁸ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

51. ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA NEUROFISIOLOGÍA A TRAVÉS DE UN ENTORNO INTERACTIVO EN ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN FÍSICA MILITAR ³⁵⁹

Freddy Rodríguez Saza³⁶⁰

RESUMEN

Con el objetivo de generar procesos que fortalezcan el perfil profesional del educador físico militar, la Facultad de Educación Física Militar de la Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova ha incorporado el uso continuo de las TIC en el aula. La experiencia desde el espacio académico de morfofisiología ha apostado en este sentido, por la constante búsqueda de un aprendizaje significativo en el estudiante bajo el Modelo de Aprendizaje Alostérico. El diseño de unidades didácticas para el módulo de neurofisiología tuvo en cuenta los estilos de aprendizaje de los estudiantes, los conceptos nucleares y el uso de un entorno virtual articulado entre el tiempo de trabajo presencial en el aula y el tiempo de trabajo autónomo (b-learning).

A través del uso de programas de simulación, como PhET y MetaNEURON, se buscaba que el estudiante llevara a cabo diferentes experimentos e interpretara los resultados de las respuestas electrofisiológicas neuronales bajo estímulos o condiciones concretas. Desde esta perspectiva, el objetivo del presente documento es describir el impacto de los entornos interactivos en la enseñanza y aprendizaje de la neurofisiología. Las diferentes actividades interactivas permitieron identificar los errores en el aprendizaje y corregir las distorsiones de conceptos previamente adquiridos por los estudiantes.

³⁵⁹ Derivado del proyecto de investigación: *Neurociencias y educación. Una aproximación desde el modelo alostérico de aprendizaje*. Semillero. Facultad de Educación Física Militar, Semillero CITIUS, Grupo de Investigación RENFIMIL, Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova.

³⁶⁰ Antropología, Universidad Nacional; Licenciatura en Biología, Universidad Distrital; Especialización en Investigación Criminal, Escuela Nacional de Policía General Santander; Maestría y Doctorado en Antropología, Universidad de los Andes; Maestrante en Historia Militar, Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova; Maestrante en Modelado y Simulación, Universidad Jorge Tadeo Lozano-Universidad Central. Docente ciencias básicas, Facultad de Educación Física Militar, Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova, Bogotá, D.C., Colombia. correo electrónico: freddy.rodriguez@esmic.edu.co

ABSTRACT

With the intention of generating processes that would strengthen the professional profile of the military physical educator, the Military Physical Education Faculty of the General José María Córdova Cadet Military School has incorporated the continuous use of ICT in the classroom. The experience from the subject of morpho physiology has bet in this sense, for the constant search for a significant learning experience towards in the student under the Model of Allosteric Learning. The design of didactic units for the neurophysiology module took into consideration the students' learning styles, the nuclear concepts and the use of a virtual environment articulated between the time spent in the classroom and the time spent working autonomously (b-learning). Using simulation programmers, such as PhET and MetaNEURON, it was sought that the student would perform out different experiments, but also and interpret the results of the neuronal electrophysiological responses under specific conditions. The purpose of the present document is to describe the impact of interactive environments in the process of teaching and learning of neurophysiology. The many different interactive activities allowed the identification of errors in the learning and the correction of distortions of concepts previously acquired by the students.

PALABRAS CLAVE: TIC, simulaciones, b'learning, modelo de aprendizaje alostérico, neurofisiología, educación física militar

Keywords: ICT, b-learning, simulations, allosteric learning model, neurophysiology, military physical education

INTRODUCCIÓN

En la Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova (ESMIC) se ha venido afianzando paulatinamente el uso de las TIC³⁶¹ en el aula, buscando fortalecer las competencias de los futuros oficiales del ejército de Colombia, pero en especial las competencias del futuro educador físico militar. En este caso, la exploración constante de estrategias didácticas y pedagógicas centradas en el proceso de aprendizaje han estado encaminadas a que el estudiante (cadete) desarrolle procesos que le permitan “aprender” de una manera integral y relacional, los diferentes aspectos de la estructura, conformación, funcionamiento y cuidado del componente corporal humano³⁶². Prueba de ello es la experiencia del saber o espacio académico de morfofisiología donde se han empleado estrategias mediadas por entornos interactivos, orientadas a generar aprendizajes duraderos y significativos de los diferentes conceptos de anatomía y fisiología humana³⁶³.

De manera particular, y como propuesta de una nueva línea de investigación en neurociencias, en un estudio previo efectuado en la Facultad de Educación Física Militar (FEFM) se ha explorado la forma como se encuentra articulada en el programa curricular de educación física militar el proceso de enseñanza-aprendizaje de uno de los núcleos más importantes de la morfofisiología, el Sistema Nervioso (SN) (Sanabria y Tibaná, 2020). En este caso, se consideró pertinente analizar la forma en que el estudio de las neurociencias, que abarca desde los aspectos moleculares y biológicos hasta los aspectos del orden psicológico y social, han venido aportando al proceso de formación profesional del educador físico militar. Así este interés resulta pertinente, toda vez que las neurociencias han permeado una importante variedad de disciplinas, por lo que el aprender el funcionamiento del SN no resulta opcional sino fundamental para el educador físico militar. Esto último ha dado como

³⁶¹ André Giordan (2020:23) diferencia entre aprender y aprendizaje, “el aprendizaje puede significar apropiarse personalmente de un saber ya manejado por la sociedad, enriquecer un concepto para darle un nuevo impulso o desarrollar un saber original”. En contraste, el término “aprender” es considerado “en una dinámica personal - o social - de elaboración y de movilización”. Por esta razón, la preocupación del educador debe estar centrada en explicar cómo un estudiante “entiende, memoriza, restituye el conocimiento y, sobre todo lo que es capaz de recrear en base (sic) a lo que ha aprendido”. De esta manera, “aprender nos interesa cuando esta habilidad trae una ventaja al individuo, especialmente cuando este último puede utilizar lo que ha aprendido”.

³⁶² Aunque en el presente documento se hace referencia a algunas competencias, para una descripción más detallada del perfil profesional y de las competencias del educador físico militar puede consultarse <https://www.esmic.edu.co/index.php?idcategoria=3469>

³⁶³ Para Muñoz et al., (2020) los entornos de aprendizaje pueden entenderse como un conjunto de herramientas que permiten que el estudiante asuma un papel activo en su aprendizaje y alcancen sus objetivos, de allí que las TIC han favorecido un contexto de ambientes eficaces

resultado la emergencia de la neuroeducación física, disciplina que une los conocimientos y logros alcanzados por las neurociencias con la educación física, buscando la mejora en la calidad de vida de los individuos a partir de una mejora en la actividad cerebral a través de la actividad física (Monezi-Andrade et al., 2012; Maureira et al., 2018, 2020; Ortiz, 2018; Pellicer, 2018).

Aunque constantemente se resalta a los estudiantes desde el inicio de su formación, el valor de la aplicabilidad de las neurociencias en el ejercicio de su praxis profesional, la realidad es otra y la experiencia docente ha mostrado la presencia de una especie de neurofobia que experimentan los estudiantes, manifestada como un cierto miedo o rechazo hacia los temas relacionados con el SN. Este fenómeno bastante observado en estudiantes de ciencias de la salud (Hernando-Requejo, 2020; Shon et al., 2002; Sotgiu et al., 2020), subyace en las características mismas del proceso de enseñanza-aprendizaje del SN, caracterizado por su complejidad, por el volumen de contenidos que deben ser enseñados y aprendidos y la exigente capacidad relacional entre los conceptos y los fundamentos fisicoquímicos y biológicos necesarios para la comprensión de las funciones nerviosas del ser humano. Desde esta perspectiva, el objetivo del presente documento es describir el impacto del b-learning y los simuladores virtuales (PhET y MetaNEURON) en el aprendizaje de los estudiantes de morfofisiología de la Facultad de Educación Física Militar.

El papel de las neuronas. El SN puede ser definido como un conjunto organizado de células, estructuras y órganos especializados cuya función es recibir estímulos e integrar y transmitir impulsos eléctricos (nerviosos), permitiéndole controlar las diferentes actividades funcionales, brindar respuestas coordinadas frente a los cambios del medio externo e interno, y en general, regular la homeostasis corporal (Sepúlveda, 2014; Rooss y Wojciech, 2013; Tortora, 2013). Así pues, temas como la organización general del SN, las estructuras nerviosas que intervienen en el ajuste de la postura y el movimiento, la neurofisiología del proceso locomotor y los procesos de transmisión del impulso nervioso son algunos de los contenidos que se enseñan y deben aprender los estudiantes de educación física militar, buscando convertir a las neurociencias en una de las fortalezas de su perfil profesional. Sin embargo, una limitante en el proceso resulta ser la baja capacidad del estudiante para aprovechar sus conocimientos previos, utilizar los nuevos conocimientos adquiridos en neurociencias y efectuar una adecuada articulación de estos con otras áreas que

hacen parte de la formación integral del educador físico militar (fisiología del deporte y entrenamiento deportivo, por ejemplo).

Uno de los aspectos más importantes y que a la vez comporta mayores dificultades para el estudiante, es la neurofisiología, área de las neurociencias cuyo objetivo es el estudio del comportamiento eléctrico de las células nerviosas (Gaytán et al., 2001:74). De manera muy sucinta, el dinámico proceso electroquímico de la actividad neuronal comporta el hecho de que una neurona transforma un estímulo en actividad eléctrica, gracias a la diferencia de cargas entre el interior (electronegativo) y el exterior (electropositivo) de la neurona.

Cuando sobreviene un estímulo, ocurre una despolarización invirtiendo, entonces, las cargas eléctricas y generando lo que se conoce como un Potencial de Acción (PA). Dicho potencial viaja a lo largo de la neurona, desde el soma (cuerpo) y a través del axón (fibras de conducción que constituyen los canales de información del cerebro y de los nervios periféricos del cuerpo) hasta llegar al terminal sináptico y de allí a las células blanco, donde estas señales eléctricas generan pequeños potenciales sinápticos (cambios del voltaje de membrana transitorios y locales) (Llinás, 2003:12). Sin embargo, el PA se generará únicamente si el estímulo que llega a la neurona sobrepasa un cierto umbral (principio del todo o nada), de tal manera, que un incremento de la amplitud de la señal aumentará la frecuencia de los PA. Cuando este último alcanza el terminal sináptico, la célula libera en la membrana presináptica neurotransmisores (dopamina, adrenalina, acetilcolina, por ejemplo) que pasan a la sinapsis (espacio entre neurona y neurona) y la membrana postsináptica donde son captados por receptores específicos de membrana de la neurona siguiente o en el caso de la placa neuromuscular por receptores de membrana asociados a las fibras musculares (Haines et al., 2019; Gaytan et al., 2001).

La entrada al juego de las TIC. Diferentes estudios han demostrado que las TIC como herramienta complementaria constituyen un recurso didáctico fundamental en la enseñanza, permitiendo tanto la mejora en el proceso de aprendizaje de los alumnos como la comprobación del grado de asimilación de los contenidos propuestos (Granero-Gallegos y Baena, 2015; Codella, 2002).

Gracias a los actuales recursos de la web, la mayoría de las instituciones en todo el mundo disponen de campus virtuales para llevar a cabo procesos de enseñanza y aprendizaje

por medios digitales en el contexto del e-learning (electronic learning) o del b-learning (blended learning), donde el recurso didáctico del e-learning constituye un apoyo a la formación presencial (Gómez y Caicedo, 2015; Ramakrisnan, 2012).

En la ESMIC, el uso de las tecnologías se ha convertido en una parte fundamental del proceso educativo, permitiendo tanto la planificación y evaluación de los saberes académicos hasta el seguimiento del avance del estudiante. A través de la Plataforma Blackboard (PB) los estudiantes mediante conexión a internet y a una cuenta institucional tienen acceso al contenido de los diferentes cursos, a material de consulta permanente, a la biblioteca virtual y a bases de datos especializadas. La PB brinda además espacios para efectuar diferentes actividades y evaluaciones en línea; al igual que otorga al estudiante una comunicación con los docentes y compañeros, mediante foros académicos y tableros de discusión (Clavijo et al., 2020; Barriga, 2019).

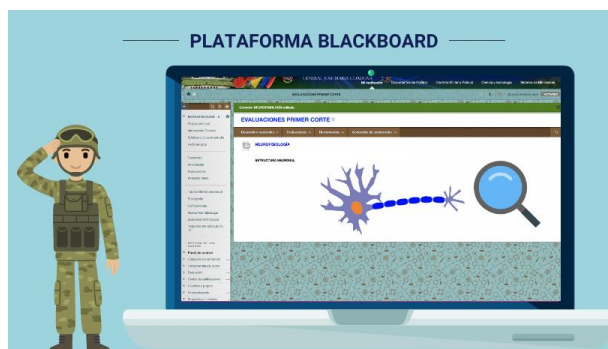


Figura 1. La plataforma BlackBoard cuenta con diferentes recursos para apoyar los procesos de aprendizaje y evaluación de los estudiantes. Para el módulo de neurofisiología se diseñaron diferentes infografías a través del editor <https://infograph.venngage.com>

De otro lado, vale la pena resaltar que la ESMIC cuenta con un Centro de Investigaciones de la Cultura Física (CICFI) dotado con equipos y recurso humano para los laboratorios de biomecánica, fisiología cardiorrespiratoria y nutrición, enfocado en promover la investigación científica formal. Dichos recursos son aprovechados por los docentes más como complemento en el proceso de formación que como verdaderos espacios continuos de aprendizaje, dado que aún no se cuenta con laboratorios de biología para prácticas docentes que permitan el desarrollo de actividades en neurociencias, donde el estudiante reflexione desde la práctica sobre las bases teóricas de su futura profesión. Esta limitante, supuso el reto de orientar las miradas hacia la búsqueda de herramientas y laboratorios virtuales, siendo el

estudiante el sujeto activo y protagonista del proceso formativo (Granero-Gallegos, 2015) y sin saberlo, se preparó el espacio para adaptarse a los cambios en el modelo educativo, que trajo consigo la llegada de la pandemia asociada al COVID-19.

Modelar y simular esa es la cuestión. Ahora bien, otras de las herramientas innovadoras de mediados del siglo XX y de uso continuo en el ámbito de la didáctica de las ciencias, han sido las actividades de modelado y la simulación computacional en el aula de clase, asociadas a estrategias de resolución de problemas, al método POE (Predecir, Observar, Explicar), al aprendizaje en contexto, al método de generación y formulación de preguntas por parte del profesor y de los estudiantes y al uso de unidades de aprendizaje (López et al., 2016). Entonces, la actividad de modelamiento puede ser vista como un ciclo constituido por dos etapas: el desarrollo del modelo y la aplicación de este, y en el que cada paso resulta ser esencial, pero se admite que volver hacia atrás resulta a menudo necesario (López et al., 2016).

Por su parte, las simulaciones son bastante útiles para abordar temas que, por múltiples razones (seguridad, tiempo, disponibilidad de material o equipo especializado, etc.), no se pueden llevar a cabo en un laboratorio escolar o universitario. A través de plataformas computacionales, los estudiantes ejecutan simulaciones de actividades prácticas, permitiéndoles abordar modelos que explican diferentes procesos biológicos, físicos o químicos y efectuar experimentos virtuales, definidos como “el análogo ‘in silico’ de un experimento de laboratorio o de campo” (Reyes et al, 2016). Este tipo de recursos favorecen el desarrollo de competencias y fomentan la seguridad del estudiante mediante la adquisición de destrezas, gracias a que a través de experiencias guiadas y de forma interactiva, se sitúa al estudiante en un contexto donde se replican continuamente aspectos sustanciales del mundo real. Además, crea un ambiente óptimo, dado que pueden diseñarse actividades para que sean predecibles, consistentes, estandarizadas, seguras y reproducibles (Contreras, 2018).

La incursión del Modelo Alostérico de Aprendizaje (MAA). Aunque existen diversos modelos de aprendizaje, se ha optado por la propuesta del francés André Giordan conocida como Modelo de Aprendizaje Alostérico (MAA). El MAA debe su nombre a una metáfora relacionada con las enzimas conocidas como alostéricas o alosteronas, que tienen

la propiedad de cambiar de forma y, por lo tanto, su actividad en función de las características del medio externo.

De esta manera, como parte de un sistema complejo, sería la estructura mental del estudiante la que cambia en función del medio ambiente según va aprendiendo (Giordan, 1995, 1994, 1989). En el MAA el estudiante es el autor de su aprendizaje, por lo tanto, lo fundamental en el modelo es identificar los múltiples vínculos entre la estructura del pensamiento del educando y la información que puede integrar. Para Giordan, el hecho de que el proceso de transmisión del conocimiento no genere los resultados esperados, está relacionado con la presencia en los estudiantes de un determinado número de conceptos erróneos, que pueden presentarse de tres formas diferentes: antes del curso (en las ideas previas), al finalizar el curso (en el nuevo conocimiento integrado a las ideas previas) y en el conocimiento realmente aprendido (con la deformación de las ideas enseñadas) (Rodríguez et al., 2020; Angeleti, 2011; Giordan, 1984).

MATERIAL Y MÉTODOS

La población de estudio estuvo conformada por un grupo de estudiantes de la FEFM (n=96) que cursaban la asignatura de Morfofisiología en el segundo período académico del año 2019.

Estilos de aprendizaje. En un estudio efectuado previamente, con la misma población (Sanabria y Tibaná, 2020), identificamos los estilos de aprendizaje de los estudiantes mediante el Cuestionario Honey-Alonso de Estilos de Aprendizaje (CHAEA), un instrumento de reconocida validez y fiabilidad muy usado en el ámbito académico iberoamericano (Honey y Munford, 1986); Alonso, 2017). El instrumento considera cuatro posibles estilos de aprendizaje: activo, pragmático, teórico y reflexivo, cada uno con características particulares (ver tabla 1).

Tabla 1
Estilos de aprendizaje descritos en el CHAEA

Estilo	Características
Activo	Improvisación - Espontáneo - Arriesgado Práctico: discusión, explicación o aplicación. Actividades didácticas privilegiadas: desarrollo de guías de estudio, carteleras, trabajos, talleres.
Teórico	Objetivo - Crítico - Metódico - Disciplinado Lógico - Estructurado - Comprende sistemas complejos Método didáctico privilegiado: clases magistrales
Pragmático	Realismo – Eficacia - Práctico - Directo Planificación - Innovación - Abstracción Actividades didácticas privilegiadas: material visual (figuras, demostraciones, diagramas, imágenes), apoyo de material didáctico.
Reflexivo	Individualista - prudente - Reflexivo - Analítico Sigue secuencias Actividades didácticas privilegiadas: mapas conceptuales, diagramas de flujo, árboles de problemas.

Fuente. Bautista, 2006

De estos cuatro estilos, la población estudiada describió una tendencia marcada hacia el estilo de aprendizaje reflexivo y activo, respecto a los estilos pragmático y teórico. Es decir, el predominio de un estilo de aprendizaje que caracteriza a individuos que prefieren pensar detenidamente sobre el objeto de estudio y trabajar solos, además de inclinarse a favor de la elaboración de mapas conceptuales, diagramas de flujo y mapas mentales, para el desarrollo de sus actividades.

Simulaciones. Teniendo en cuenta el MAA, los estilos de aprendizaje predominantes y haciendo uso del entorno virtual que brinda la PB, se diseñaron tres unidades didácticas para el módulo de neurofisiología. Estos instrumentos involucraron actividades relacionadas con el uso de dos tipos de simuladores. El primero, PhET (The Physics Education Technology)³⁶⁴ es un simulador de uso extendido en la enseñanza de las ciencias a distintos niveles de escolaridad, que presenta ambientes animados, interactivos y juegos en los que los

³⁶⁴ Disponible en el sitio web <http://phet.colorado.edu>

estudiantes aprenden a través de la exploración (Perkins et al., 2006). El segundo, MetaNEURON³⁶⁵ es un programa de ordenador que simula las propiedades eléctricas básicas de neuronas y axones, resaltando el principio básico de la función neuronal, está destinado a los principiantes de la neurociencia y no requiere un conocimiento previo en programación, en contraste con otros simuladores. Por medio de la primera unidad didáctica, el estudiante explora sus conocimientos previos sobre las propiedades de las membranas y su relación con el paso de los iones a través de esta, y con ayuda del docente identifica las distorsiones y concepciones erróneas que posee. En la segunda unidad didáctica, se solicita al estudiante que cambie las condiciones iniciales del estímulo, describa la respuesta eléctrica de la neurona y plantee hipótesis teniendo en cuenta los modelos biológicos de Potencial de Acción y Potencial de Membrana, que ha explicado el docente. Y finalmente, en la tercera unidad didáctica, el estudiante pone a prueba la integración de sus conocimientos, al enfrentarse a casos concretos de la actividad física y debe tratar de explicar qué ocurre a nivel del circuito neuronal, con los cambios en el gradiente de concentración, en la amplitud y la frecuencia.

PreTest y PostTest. Con el objeto de evaluar los conocimientos previos, así como el desempeño final de los estudiantes, se aplicaron a través de la PB, un PreTEST y un PostTEST. Cada instrumento consta de una batería de 25 preguntas sobre neurofisiología y fueron validados, mediante el juicio de tres expertos. El coeficiente Kappa³⁶⁶ ($K = 0.67$ y $K = 0.63$) del PreTEST y del postTEST, indicó que los dos instrumentos son válidos dado que presentan una fuerza de concordancia sustancial o considerable, de acuerdo con la clasificación de Landis y Koch (1977).

Para el estudio se definieron cinco niveles de desempeño: Muy bajo (0-5), Bajo (6-10), Regular (11-15), Bueno (16-20) y Muy Bueno (21-25) dependiendo de la cantidad de ejercicios resueltos correctamente.

RESULTADOS

El diseño de las unidades didácticas orientadas hacia actividades que favorecen especialmente los tipos de aprendizaje reflexivo y activo (que no implicó dejar de lado los

³⁶⁵ Disponible en el sitio web <http://MetaNeuron.org>

³⁶⁶ Siguiendo la metodología de Cerda y Villarroel, 2008

tipos de aprendizaje pragmático y teórico), brindaron a los estudiantes los elementos necesarios para que identificaran sus conocimientos previos, sus falencias al afrontar los ejercicios y actividades propuestos a través de simulaciones y sintieran la necesidad de buscar nuevo conocimiento para resolver problemas que articulaban conceptos de neurofisiología con la actividad física y el deporte.

A través de la primera unidad se identificaron los errores conceptuales que dificultaban el aprendizaje, destacándose los problemas en el uso de conceptos como voltaje, frecuencia y amplitud, así como la confusión entre Potencial de Acción y Potencial de Membrana. Al respecto, la dificultad recae especialmente en la baja capacidad relacional que se presenta a la hora de entender los dos modelos. En el semestre anterior, en el espacio académico de biología humana, el estudiante abordó la composición de la membrana plasmática celular, como un mosaico fluido con diversas proteínas insertadas en una matriz de fosfolípidos.

De otro lado, se encuentra la idea de la membrana plasmática neuronal como un modelo eléctrico que depende de la diferencia del potencial eléctrico intracelular, así como del flujo y las variaciones en las concentraciones de los iones de K^+ , Na^+ y Cl^- . Conviene subrayar entonces, que la simulación Phet para canales de membrana (figura 2), aunque tiene limitaciones para trabajar con variaciones en las concentraciones internas y externas de iones en la célula, permiten al estudiante aproximarse de una manera más interactiva a la importancia y el rol fundamental de los canales reguladores de membrana. Un paso adelante se da cuando se trabaja con la simulación PhET de Potencial de Membrana (figura 3), donde confluyen los conceptos de membrana celular y entra en juego el modelo eléctrico de la membrana plasmática neuronal.

De acuerdo con las respuestas consignadas por los estudiantes a través de la PB, el siguiente paso constituyó todo un desafío. Hasta ese momento, PhET había sido una herramienta relativamente sencilla, aunque de cierta manera tiene un carácter intuitivo en su manejo. Mientras que MetaNEURON (ver figura 4) requiere de una buena base en los conocimientos previos respecto a circuitos eléctricos para lograr llegar a un aprendizaje congruente del concepto de Potencial de Equilibrio Electroquímico. Por lo tanto, se requirió de un mayor acompañamiento del docente durante las simulaciones.



Figura 2. Simulación en PhET del paso de partículas a través de los canales de membranas. <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/membrane-channels>. La infografía de la unidad didáctica se diseñó en el editor <https://infograph.venngage.com>.

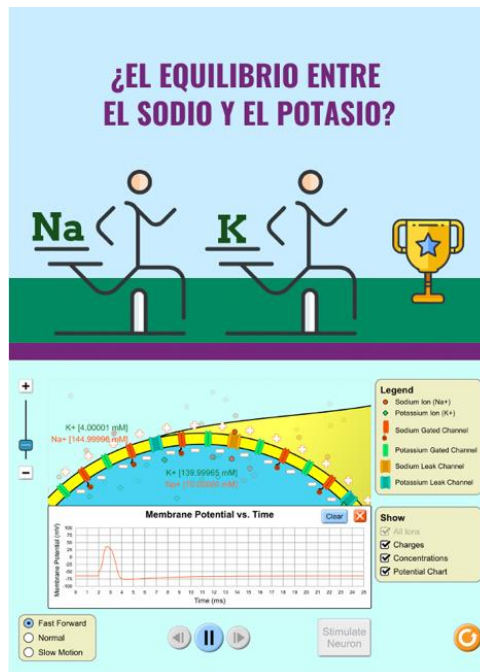


Figura 3. Simulación en PhET del Potencial de Membrana y el Potencial de Acción respecto al tiempo en milisegundos. <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/membrane-channels>. La infografía de la unidad didáctica se diseñó en el editor <https://infograph.venngage.com>.

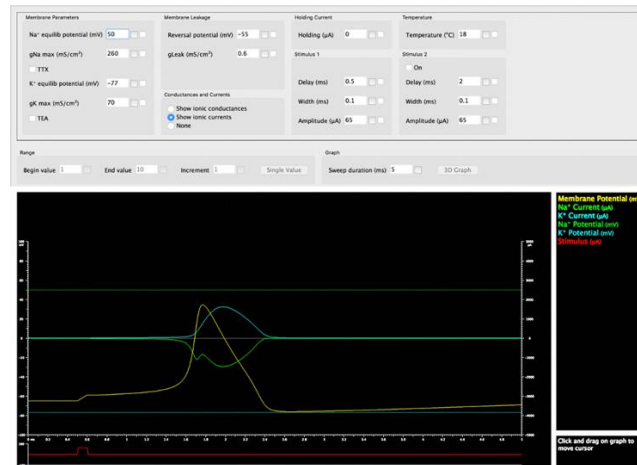


Figura 4. Simulación en MetaNEURON del Potencial de Acción bajo condiciones específicas de equilibrio y desequilibrio de los iones de Na⁺ y K⁺. <http://www.metaneuron.org>

Los ejercicios propuestos respecto a las variaciones de las concentraciones de los iones de K⁺ y Na⁺, tanto al interior como en el exterior de la célula llevaron al estudiante a efectuar múltiples simulaciones hasta hallar el potencial de equilibrio del Na⁺. Esto con el fin de identificar, por ejemplo, que ocurría cuando se presentaba una mayor concentración del Na⁺ en el exterior (100mM, respecto al interior (10 mM) y el por qué se daba este fenómeno, o inferir como la conductancia del K⁺ y del Na⁺, dependientes del voltaje y el tiempo generan el potencial de acción.

No obstante, es de considerar que la mayor parte de los estudiantes, lejos de desistir en el análisis de los casos propuestos, se sintieron estimulados a seguir aprendiendo no solo en el manejo de MetaNEURON, sino también en la relación entre estos fenómenos y el proceso motriz.

De ahí que, una vez efectuada la intervención didáctica, los resultados de las pruebas aplicadas (PreTest y PosTest) mostraron un importante cambio en el nivel alcanzado, dando como resultado una diferencia importante entre el nivel indicado por la media de los puntajes del PreTest y del PosTest (ver Figura 5). En el PreTest se obtuvo un 43,75% para el nivel *Muy Bajo*, un 39,58% para el nivel *Bajo*, un 15,63% para el nivel *Regular* y un 1,04% para el nivel *Bueno*, mientras que para el PosTest el nivel más alto alcanzado corresponde al nivel *Regular* con un 32,29%, seguido del nivel *Bueno* con un 25,00%, un nivel *Bajo* con un 22,92% y el nivel *Muy Bajo* con un 19,79%.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Indudablemente el educador físico militar precisa de una serie de conocimientos y habilidades en neurofisiología para brindar una adecuada asesoría, tanto en el ámbito del entrenamiento físico y deportivo de la unidad militar a la que esté asignado, como en el entorno civil. En este sentido, el MAA posibilitó en los estudiantes de morfofisiología una transformación positiva de apropiación de habilidades y conocimientos básicos en neurofisiología, requeridos para una adecuada articulación con otros espacios académicos (fisiología del deporte y entrenamiento físico, por ejemplo). Este hecho, puede verse claramente expresado en el cambio observado en los resultados obtenidos entre el PreTest (nivel Muy Bajo a Bajo) y el PosTest (nivel Regular a Bueno), pero especialmente, al comparar los resultados del PosTest con los obtenidos en períodos previos a la incorporación del MAA, del b-learning y de los simuladores, en los cuales la media del PosTest en neurofisiología oscilaba entre Muy Baja a Baja.

Ciertamente, el MAA configuró nuevas oportunidades, diferentes a las ofrecidas por las pedagogías tradicionales de transmisión, del adiestramiento y la problematización. De esta manera, se partió de la identificación previa de los estilos de aprendizaje predominantes en los estudiantes (reflexivo y activo) y sus conocimientos previos, ajustando entonces las actividades basadas en el modelo b-learning y en el uso de simuladores PhET y MetaNEURON.

Dichas alternativas mostraron ser una herramienta enriquecedora en la enseñanza-aprendizaje de la neurofisiología, pues favoreció un ambiente didáctico para que el estudiante integrara adecuadamente los principios básicos de la electrofisiología y su relación con la membrana neuronal. Además, brindaron el espacio para que el estudiante pudiera explorar y confrontar sus experiencias previas, identificara las distorsiones en sus conocimientos adquiridos y, finalmente, articulara nuevos conocimientos adecuadamente estructurados (metacognición), apoyándose en la mediación del docente a lo largo de la experimentación a través de actividades interactivas y virtuales.

En conclusión, el MAA, el b-learning y el uso de simuladores, dieron paso a un cambio de paradigma en la enseñanza -aprendizaje, al generar espacios que favorecieron el deseo de aprender y causaron un proceso de deconstrucción y reconstrucción de la estructura

cognitiva del educando, pasando del nivel netamente perceptivo y cognitivo hasta alcanzar el nivel metacognitivo deseado.

De modo que este trabajo destaca, los resultados obtenidos al integrar instrumentos derivados de las TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la neurofisiología en estudiantes de educación física militar. Página | 1014

Los hallazgos son apenas una primera aproximación al uso de las simulaciones y del b-learning como herramientas interactivas que apoyan el aprendizaje del educador físico militar y que, desde luego, serán objeto de análisis mucho más profundos en próximas publicaciones.

Habilidades necesarias para brindar asesoría en el ámbito del entrenamiento físico y deportivo de la unidad militar a la que sea asignado, sin olvidar su posible desempeño en el entorno civil. Indudablemente el educador físico precisa de una serie de conocimientos en neurofisiología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso Reyes, R., Pacheco Ballagas, J., Vigoa Machín, L., y León Morejón, Y. (2017). Experiencia en la adaptación de actividades a los estilos de aprendizaje desde la educación de posgrado a distancia. *Educación Médica Superior*, 31(2), 0-0.
- Angeletti, A. J. A. (2011). El modelo de aprendizaje alostérico de Andre Giordan y su aplicación a la capacitación de adultos. *Revista Psicológica Herediana*, 6(1-2), 26-26.
- Barriga, L. A. (2019). Competencias tic para los docentes del programa de administración logística de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” (Master's thesis, Universidad de La Sabana).
- Bautista, J. (2006). Identificación de los estilos de aprendizaje en los estudiantes de fisiología del ejercicio de la Facultad de Rehabilitación y Desarrollo Humano. *Revista ciencias de la salud* 4, 41-53.
- Borges, A. E. P., Bencomo, D. B. P., Bencomo, E. R. P., y Cevallos, E. C. (2017). Fundamentos físicos de los procesos del organismo humano. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 36(2), 186-197.
- Cerda, J., y Villarroel Del, Luis. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista chilena de pediatría*, 79(1), 54-58.
- Clavijo, J. A. V., Carrillo, B. S. V., Molano, A. D. V., y Garzón, A. R. Y. (2020). Identificación y selección de una herramienta tecnológica para la evaluación del desempeño académico en la Escuela de Armas Combinadas del Ejército. *Brújula Semilleros de Investigación*, 8(15), 7-29.
- Contreras Olive, Y., Reyes Fournier, M., Nates Reyes, A. B., y Pérez Arbolay, M. D. (2018). Los simuladores como medios de enseñanza en la docencia médica. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 47(2), 0-0.
- Gaytán Guía, S. P., Pásaro Dionisio, M. R., y Pontiga Romero, F. D. P. (2001). Programa piloto de aprendizaje interactivo en Neurobiología: nuevas estrategias de enseñanza de la Electrofisiología. *Revista de Enseñanza Universitaria*, 18, 73-80.

- Giordan, André. (2020). Aprender. Traducción de François Soulard y Adriana Monzón.
- Giordan, André. (1995). Los nuevos modelos de aprendizaje: ¿más allá del constructivismo? *Perspectivas*, 21(1), 1-23.
- Giordan, André. (1994). Le modèle allostérique et les théories contemporaines sur l'apprentissage. *Conceptions et connaissances*. Berne, Peter Lang.
- Giordan, André. (1989). De las concepciones de los alumnos a un modelo de aprendizaje alostérico. *Revista Investigación en la Escuela*, 8, 3-13.
- Gómez, S. M., y Caicedo, L. M. (2015). Estudiar carreras universitarias en modalidades e-learning y b-learning. *Revista Lasallista de Investigación*, 12(2), 94-104.
- Granero-Gallegos, A., y Baena-Extremera, A. (2015). Diseños de aprendizaje basados en las TIC (Moodle 2.0 y Mahara) para contenidos de Anatomía, Fisiología y Salud en las clases de Educación Física escolar. *International Journal of Morphology*, 33(1), 375-381
- Haines, D. E., Faaa, P. F., y Mihailoff, G. A. (Eds.). (2019). *Principios de neurociencia: aplicaciones básicas y clínicas*. Elsevier.
- Hernando-Requejo, V. (2020). *Neurophobia: why, how much, consequences and solutions*. MedEdPublish, 9.
- Honey, P., Munford, A. (1986). *Using your learning styles*. Maidenhead: Peter Honey.
- Llinás, R. R. (2003). *El cerebro y el mito del yo: el papel de las neuronas en el pensamiento y el comportamiento humanos*. Editorial Norma.
- López, S., Veit, E. A., y Araujo, I. S. (2016). Una revisión de literatura sobre el uso de modelación y simulación computacional para la enseñanza de la física en la educación básica y media. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38(2).
- Maureira, F. (2018). *Principios de neuroeducación física*. Bubok.
- Maureira, F., Muñoz, H. D., Ferro, E. F., Nogales, O. G., y Briceño, M. H. (2020). Variaciones de las dinámicas no lineales de las ondas gamma durante la resolución de una prueba de atención tras la aplicación de ejercicio físico. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (37), 320-325.

Monezi-Andrade, A. L., Bedendo-de Souza, A., Roger-Silva, D., y Souza-Pires, G. N. (2012). Enseñar neurociencias en educación física no Brasil: una propuesta de integración. *Educación y Educadores*, 15(1), 13-22.

Muñoz-Sánchez, Y., Alonso-Lavernia, A. L., Castillo-Pérez, C. P., y Martínez-Lazcano, V. (2020). Entornos de Aprendizaje Eficaces con TIC. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 7(13), 65-66. Página | 1017

Newman, M. H., y Newman, E. A. (2013). MetaNeuron: a free neuron simulation program for teaching cellular neurophysiology. *Journal of Undergraduate Neuroscience Education*, 12(1), A11.

Ortiz, D. C. (2018). Neuroeducación física y retos físicos cooperativos. *Tándem: Didáctica de la educación física*, (62), 18-23.

Pellicer, I. (2018). Neuroeducación física: Una propuesta de investigación-acción. *Tándem: Didáctica de la educación física*, (62), 31-37.

Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C., y LeMaster, R. (2006). PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. *The physics teacher*, 44(1), 18-23

Ramakrisnan, P., Yahya, Y. B., Hasrol, M. N. H., y Aziz, A. A. (2012). Blended learning: A suitable framework for e-learning in higher education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 67, 513-526.

Reyes Lazalde, A., Reyes Monreal, M., y Pérez Bonilla, M. E. (2016). Experimentación virtual con el simulador dosis-respuesta como herramienta docente en biología. *Apertura (Guadalajara, Jal.)*, 8(2), 22-37.

Rodríguez, F., Herrera, J.S., Flórez, B., y Melo, P. (2020). Correr y medir: El desarrollo del pensamiento métrico en el contexto de la Educación Física Militar a través del Modelo de Aprendizaje Alostérico y las Redes Asociativas Pathfinder. *Latin American Journal of Physics Education*.

Ross, M. H., y Wojciech, P. (2013). *Histología*. Editorial Médica Panamericana.

Sanabria, Erika y Tibaná, Jair. (2020). ¿Cómo enseñar neurociencias al educador físico militar?: Una propuesta desde el Modelo Alostérico de Aprendizaje en la Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova. Tesis de pregrado. Facultad de Educación Física Militar. ESMIC, Bogotá.

Schon, F., Hart, P., y Fernández, C. (2002). Is clinical neurology really so difficult? *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 72(5):557-9.

Sepúlveda Saavedra, J. (2013). *Texto atlas de histología: biología celular y tisular*. McGraw Hill Mexico.

Sotgiu, M. A., Mazzarello, V., Bandiera, P., Madeddu, R., Montella, A., y Moxham, B. (2020). Neuroanatomy, the Achille's heel of medical students. A systematic analysis of educational strategies for the teaching of neuroanatomy. *Anatomical sciences education*, 13(1), 107-116.

Tortora, G. J., y Derrickson, B. (2013). *Principios de anatomía y fisiología*. Médica Panamericana