

PROPUESTA DE UNIDAD DIDÁCTICA COMO ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA
DEL POTENCIAL ELÉCTRICO DE LA MEMBRANA DE LA NEURONA PARA
ESTUDIANTES DE NEUROPSICOLOGÍA

BRAYAN FELIPE FARFÁN CHAVARRÍA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

LICENCIATURA EN FÍSICA

BOGOTÁ D. C. Agosto 2023

PROPUESTA DE UNIDAD DIDÁCTICA COMO ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA
DEL POTENCIAL ELÉCTRICO DE LA MEMBRANA DE LA NEURONA PARA
ESTUDIANTES DE NEUROPSICOLOGÍA

BRAYAN FELIPE FARFÁN CHAVARRÍA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN FÍSICA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LAS
CIENCIAS: ENFOQUES DIDÁCTICOS
ASESORA: JUDITH TRUJILLO TÉLLEZ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

LICENCIATURA EN FÍSICA

BOGOTÁ D. C. Agosto 2023

Dedicatoria

A Dios, por guiar cada paso de mi camino y darme la capacidad para enfrentar cada adversidad y obstáculo.

A mis padres, por brindarme su apoyo y amor incondicional sobre todas las cosas, brindarme una educación y hacer de mí un ser integro.

A mi novia Laura por ser la que me motiva cada día a ser el mejor en lo que hago y empujarme cuando lo necesité.

A mi amiga María Paula, mi sensei, mi mantra, mi guía, por ser la que me acompañó en este proceso escritural, la que me corregía cada vez que no hacía bien las cosas y la que ahora me llevará a recibir el título.

A mis amigos más cercanos que siempre me apoyaron e incentivaron a terminar el escrito.

A mis compañeros de la universidad, por hacer parte de mi contexto educativo y recorrer el camino de la educación superior conmigo.

A todos los maestros que hicieron parte de mi formación académica y humana.

A la Universidad Pedagógica Nacional, por abrirme sus puertas y cambiar mi perspectiva de ver el mundo para luchar por un país con una educación cada día mejor.

A ti, que te detuviste a leerme.

AGRADECIMIENTOS

A Dios en primer lugar le quiero dar las gracias por brindarme de sabiduría e inteligencia para culminar este proceso en mi vida, por hacer de mí un instrumento para los profesionales del mañana.

A mis padres German Farfán Rincón y Luz Miriam Chavarría por inculcarme los valores que me hacen ser la persona que soy hoy en día, y por confiar en cada una de las decisiones que tomé, que al final me condujeron hasta aquí y por siempre apoyar mi educación y brindarme todo lo necesario.

A María Paula Cartagena, que más que una compañera de trabajo fue una gran amiga para mí, se convirtió en un apoyo constante que me motivó a continuar cada vez que quería rendirme, y puso su conocimiento y experiencia a mi disposición sin esperar nada a cambio.

A mi tutora y profesora Judith Trujillo, por confiar en mí y acompañar este proceso, guiando este trabajo con mucha paciencia.

A mí profesora y ex directora de la línea de investigación La enseñanza y aprendizaje de las ciencias: Enfoques didácticos Rusby Yalile Malagón, por acoger la idea primaria y motivarme a seguir trabajando en ella, por darme consejos cada vez que los necesitaba, y velar por mi formación como maestro de Física.

A la Universidad Pedagógica Nacional, por ser mi querida alma mater, por formarme tanto en lo académico como en lo humano, por permitirme conocer a personas, maestros que me ayudaron a ampliar mis perspectivas e ideales sobre el mundo, por permitirme conocer otras formas de enseñar y aprender, y por dejarme explotar todas las habilidades que tenía ocultas dentro de mí, de modo tal que la persona que un día presentó una entrevista en el edificio B de la universidad para seguir su sueño, ahora sale al mundo renovada, enriquecida, y con ganas de aplicar todo lo aprendido.

Tabla de contenido

Introducción	6
Capítulo 1	8
1.1. Contexto problemático	8
1.2. Planteamiento Del Problema	8
1.3. Pregunta problema.....	10
1.4. Objetivos específicos.....	11
1.5. Justificación.....	12
Capítulo 2.....	13
2.1. Antecedentes	13
2.1.1 Referentes locales.....	13
2.1.2 Referentes nacionales.....	15
2.1.3 Referentes internacionales.....	16
2.2. Marco conceptual	18
Estructura de la neurona.....	18
Canales, iones y gradiente de concentración.....	21
Ecuación de Nernst y Goldman.....	23
Circuito eléctrico equivalente.....	26
Interdisciplinariedad.....	30
Modelo pedagógico Conceptual y Modelo didáctico Cambio Conceptual	33
Unidad didáctica.....	36
Construcción de una unidad didáctica.....	37
Capítulo 3	39
3.2. Técnicas e instrumentos	40
3.3. Propuesta pedagógica.....	42
3.3.1. Unidad didáctica: <i>EXPERIMENTANDO EL POTENCIAL DE MEMBRANA</i>	42
Capítulo 4 Validación de la propuesta de Unidad Didáctica.....	48
4.1 Análisis y consideraciones finales.....	48
4.2 Conclusiones y recomendaciones.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	53
Anexos.....	57

Introducción

Este proyecto de investigación busca explicar procesos fisiológicos neuronales, como el potencial de membrana de la célula neuronal, a través de conceptos físicos (potencial eléctrico) desarrollados por medio de experiencias de aprendizaje articuladas en una página web como propuesta de unidad didáctica que logre integrar elementos de la física con la fisiología humana, y de esta forma ofrecer a los estudiantes un conocimiento interdisciplinario y correlacionado sobre los procesos de la célula del sistema nervioso, esto atendiendo a la problemática relacionada con la falta de herramientas didácticas que permitan explicar el potencial de membrana de la neurona, también denominado potencial eléctrico de reposo, desde el campo de la física.

El proyecto comienza a desarrollarse durante la práctica educativa que hace parte del currículo del programa de Licenciatura en Física de la UPN y que fue llevada a cabo en la Fundación Universitaria Minuto de Dios (UNIMINUTO), en la clase de Neuropsicología del programa de Psicología. Allí se pretendía integrar varios campos del conocimiento como la psicología, la fisiología y la física. Una vez más sustentando la idea de la interdisciplinariedad como complemento en un proceso de formación profesional que genera un tejido más complejo que la suma de sus partes (Morin, 1999), que a su vez fue el propósito de esta investigación: usar conceptos físicos (potencial eléctrico que está inmerso en la explicación del potencial de membrana) entender conceptos esenciales en la neuropsicología y que siempre se han enseñado únicamente desde la fisiología.

El trabajo se desarrolla en cuatro capítulos; en el capítulo 1 se contextualiza al lector en cuanto a las generalidades de la investigación incluyendo el planteamiento del problema, la justificación y objetivos general y específicos. En el capítulo 2 se presentan los referentes investigativos divididos en tres secciones que corresponden a los referentes locales, nacionales e internacionales, y que permiten tener un panorama respecto a lo trabajado anteriormente en torno al potencial de membrana. Junto con los referentes, el segundo capítulo desarrolla el marco conceptual en el que se encuentran conceptos en torno al potencial de membrana, gradientes, iones, entre otros, junto con los fundamentos pedagógicos que incluyen conceptos como interdisciplinariedad, modelos pedagógico

(conceptual) y didáctico (cambio conceptual), y construcción de unidades didácticas.

En el tercer capítulo se evidencia el marco metodológico en el que se enuncian el paradigma y enfoque de la presente investigación además de los instrumentos y técnica de recolección de datos. En esta sección se halla también la propuesta didáctica que está encaminada en el desarrollo de dos actividades de tipo experiencial que pretenden explicar todo lo relacionado con el potencial eléctrico implicado en el proceso de potencial de membrana de las neuronas, tanto cualitativa como cuantitativamente. Finalmente, el capítulo 4 presenta las consideraciones finales y un breve análisis de estas, los cuales fueron obtenidos a partir de la validación que se llevó a cabo con los cinco profesionales relacionados con el área de psicología, junto con las conclusiones obtenidas del trabajo realizado, y algunas recomendaciones respecto a lo desarrollado a lo largo del proyecto.

Capítulo 1

Contextualización del trabajo de investigación

1.1. Contexto problemático

La investigación surge en el espacio académico de la Práctica III de la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN), cursado en el periodo 2019-2. Se llevó a cabo en la Universidad Minuto de Dios, en la clase de Neuropsicología del programa de Psicología que contaba con 8 estudiantes de tercer semestre. Con el fin de abordar conceptos que desconocían los estudiantes, fue necesario en el transcurso de la intervención de práctica incluir temáticas de la física que dieran sentido y valor a conceptos dentro de la fisiología sobre la comprensión del potencial de membrana. Se inició con el tema del sistema nervioso a través de las siguientes preguntas: ¿cómo el paso de información de neurona a neurona (sinapsis) puede ser explicado a través de fenómenos de electricidad? y ¿cómo se relaciona con procesos de la conducta humana? Sin embargo, al pedir a los estudiantes que expresaran lo que habían entendido de la explicación, ellos se detuvieron en los procesos fisiológicos, pues no recordaban con claridad los fenómenos físicos involucrados.

A partir de la experiencia descrita anteriormente, se consideró importante que los estudiantes de neuropsicología lograran entender los conceptos físicos (potencial eléctrico) a través de experiencias en el aula, y de este modo, fomentar el carácter científico y la interdisciplinariedad para educar a individuos integrales que puedan darle mayor sentido y explicación a los procesos psicológicos a través de una serie de nociones sobre electricidad y fisiología (Lenoir, 2013), que ayude asentar los aprendizajes necesarios, esto desde la experimentación, pues se conoce desde el ámbito pedagógico y didáctico que logra captar la curiosidad, aumenta la capacidad de atención en los estudiantes y genera un aprendizaje significativo al poner como protagonista al alumno, así el docente se reconoce como dinamizador del proceso de aprendizaje (Rivera, A. 2016).

1.2. Planteamiento Del Problema

En las sesiones de la práctica, el maestro en formación pudo observar que existía en los

estudiantes un interés por recibir un aprendizaje interdisciplinario y didáctico acerca de la explicación de temáticas y conceptos físicos que hacían referencia a la neurona y su funcionamiento. Es por esto que, el maestro en formación se encamina a prestar un mayor interés en la elaboración de este trabajo investigativo, puesto que, su experiencia tanto práctica como teórica permitió generar una sintonía con la intención de la investigación en torno al entendimiento de los procesos eléctricos implicados en el potencial de membrana.

Desafortunadamente en la práctica educativa solo se pudo realizar la implementación de un generador de Van de Graaff y una explicación cualitativa en relación con el fenómeno de carga y descarga inmerso en la membrana celular; esto debido al poco tiempo y distintas temáticas que, según la malla sintética de la asignatura, se debían abordar en cada sesión, por lo que eran mínimos los encuentros en los que se podía intervenir, ya que la práctica era únicamente los sábados. Aunque el montaje del generador explica procesos estáticos, y no tendría pertinencia en una explicación de potencial de membrana, ya que el potencial es un proceso dinámico, en el proceso de estas actividades se pudo evidenciar una problemática, ya que no se logró implementar una unidad didáctica completa y rigurosa sobre el potencial de membrana.

En relación con lo anterior, los alumnos del programa de neuropsicología inicialmente no veían la importancia de los conceptos físicos en las temáticas que circundaban la comprensión de la fisiología humana y que ellos trabajan dentro de su malla sintética curricular de la asignatura de neuropsicología. Desde sus conocimientos como psicólogos en formación, se lograba ver que tenían un manejo adecuado de conceptos de psicología y fisiología en temáticas del sistema nervioso y polígono de Willis, lo que deja claro que en su campo del conocimiento ellos manejan muy bien conceptos relacionados a esta temática en general, pero al mencionar tópicos como carga, descarga, potencial de membrana, gradiente de concentración etc; tenían sólo conocimientos y recuerdos vagos que les dejaron sus años de formación en la básica secundaria. Al introducir los temas de la electrostática, en los pocos espacios que se tuvo dicha oportunidad, se vio el interés de los estudiantes por ahondar en los conceptos físicos y su relación con los temas de la fisiología. Por tanto, y teniendo en cuenta la relevancia de la física en estos procesos fisiológicos, se considera un eje problemático la falta de conocimientos y saberes claves al respecto, pues son menesteres para la comprensión del fenómeno eléctrico del potencial de membrana.

Adicional a lo anterior, dentro de los planes curriculares visualizados, no se evidenció que la institución educativa incluyera una profundización al entendimiento de procesos fisiológicos a partir de los fenómenos físicos que se ven inmersos en ellos. Esto puede convertirse en una restricción en los procesos de enseñanza y aprendizaje desde la asignatura de neuropsicología, puesto que no se permite desarrollar un pensamiento integral que conlleve a la comprensión del funcionamiento del sistema nervioso humano y lo que a este atañe, debido a que desde el simple estudio de procesos netamente orgánicos no se abordan de forma holística las temáticas propuestas, que podrían verse enriquecidas si se viesen incluidos conceptos físicos.

Ahora bien, otra de las tensiones evidenciadas a lo largo de la práctica, se refiere a los modos de intervención docente (estos entendidos como la labor pedagógica y didáctica en el aula), y cómo las estrategias utilizadas en las sesiones de clase se constituyen realmente como posibilitadores de un aprendizaje significativo. Para ello, se pensó en la importancia de sugerir la inclusión de una estrategia que permitiera integrar en las temáticas de la malla curricular establecida por la institución, la propuesta didáctica sin retrasar o modificar los contenidos establecidos (Pellón et al., 2009). Sin embargo, el desarrollo de la práctica educativa del maestro en formación no continuó en esta institución y por tanto no se logró dar continuidad a esta propuesta. Esto no quiere decir que el ofrecimiento de generar una estrategia didáctica no siga teniendo validez. Muy al contrario, puede convertirse en un apoyo no sólo para los estudiantes del programa de neuropsicología de esta Universidad, sino que puede ser un referente para otros estudiantes y profesores de otras instituciones y es posible que a través del planteamiento de una unidad didáctica esta situación se pueda solventar, por lo cual surge la siguiente pregunta de investigación:

1.3. Pregunta problema

¿Cómo integrar en una propuesta de unidad didáctica elementos de la física con la fisiología humana que se constituyan en estrategia de enseñanza del potencial de membrana en reposo (potencial eléctrico) de la neurona para estudiantes de cursos de neuropsicología?

1.4. Objetivo general

Integrar elementos de la física con la fisiología humana, ofreciendo a estudiantes de neuropsicología un conocimiento interdisciplinario y correlacionado sobre uno de los procesos de la célula del sistema nervioso; el potencial de membrana en reposo (potencial eléctrico), a través de una propuesta de unidad didáctica.

1.4. Objetivos específicos

- Establecer elementos conceptuales interdisciplinarios relacionados con el estudio del potencial de membrana que posibiliten la construcción de la propuesta de unidad didáctica.
- Plantear un marco conceptual pedagógico donde se tenga en cuenta el modelo pedagógico y didáctico elegido, y la importancia de la interdisciplinariedad para la elaboración de la propuesta de unidad didáctica.
- Elaborar una página web que socialice la propuesta de unidad didáctica y ofrezca un acercamiento al fenómeno eléctrico del potencial de membrana a través de actividades experienciales
- Validar la propuesta con profesionales en psicología, identificando los aciertos y aspectos por mejorar de la unidad didáctica para su futura implementación.

1.5. Justificación

Esta propuesta de unidad didáctica se hace relevante puesto que, emerge a partir de la presentación y explicación de algunos fenómenos físicos que se ven involucrados en el potencial de membrana (potencial eléctrico) de la neurona, mediante la experimentación; por tanto, los avances de esta investigación servirán como base para la implementación de proyectos experimentales con estudiantes de cursos de neuropsicología. De esta forma, el docente tendrá una herramienta para su ejercicio de enseñanza, que propenda al aprendizaje del sistema nervioso y del potencial de membrana de la neurona a partir de dos montajes experimentales propuestos en esta investigación, que les ayudará a los estudiantes a la construcción de conocimiento científico a través de un proceso de cambio conceptual, además de los beneficios que van ligados a los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Por otra parte, esta investigación tiene su novedad en la forma teórica-práctica en que se puede comprender el potencial de membrana, no sólo reconociendo aspectos fisiológicos y psicológicos del sistema nervioso. En este sentido, este trabajo tiene como propósito desarrollar una propuesta de unidad didáctica que se constituya como estrategia de enseñanza y aprendizaje del potencial de membrana de la neurona. Así pues, es importante que los profesionales, en este caso, los psicólogos en formación logren fundamentar sus saberes no solo desde su campo del conocimiento, sino también aborden otras temáticas para la construcción de su intelecto. Además, esta investigación puede contribuir a la producción de pensamiento flexible, ampliar las habilidades cognitivas como la percepción, aumentar la forma en que se accede al conocimiento adquirido y perfeccionar las técnicas de aprendizaje (Ackerman, 1988, citado en Carvajal, 2010).

Por último, es relevante mencionar que para el investigador es importante relacionar herramientas didácticas y pedagógicas que faciliten la comprensión de conceptos que no son netamente de la disciplina específica del maestro en formación (en este caso de la física), sino que se vean involucrados en otros ámbitos de aprendizaje como lo pueden ser las ciencias de la salud, y que a su vez permiten explorar diferentes estrategias de enseñanza e instrumentos didácticos para hacer que el proceso de aprendizaje guiado por el docente que implemente esta propuesta sea más dinámico y pedagógico.

Capítulo 2 Contexto teórico

2.1. Antecedentes

La búsqueda de los siguientes referentes investigativos tuvo el fin de robustecer, apoyar y darle aún más sentido a la investigación, encontrando bibliografía pertinente que sirvió de sustento para la construcción de este documento. La búsqueda se direccionó hacia la temática principal del trabajo: conceptos de electricidad, potencial de membrana, el sistema nervioso, estrategias didácticas en el aula, entre otros. La mayoría de estos referentes son artículos, investigaciones y trabajos de grado que fueron seleccionados para dar una idea más aterrizada y apoyada por otros autores que tuvieron una intención parecida en sus investigaciones. Uno de los criterios más importantes que se utilizó para la búsqueda fue el uso de palabras claves alrededor del tema principal, como sistema nervioso, funcionamiento neuronal, iones electrolíticos, potencial de membrana, entre otros.

2.1.1 Referentes locales

Universidad Pedagógica Nacional

1. En primer lugar, Prieto, J. (2013) desarrolló el trabajo de grado titulado *El estudio de la actividad eléctrica neuronal como propuesta para la comprensión de algunos fenómenos eléctricos en grado décimo* donde tuvo como objetivo general elaborar una propuesta para el estudio de la actividad eléctrica neuronal, así como de los aspectos que generan y estructuran los fenómenos eléctricos implicados en su explicación. Gracias al marco conceptual que elaboró dentro de su proyecto, diseñó una estrategia didáctica centrada en una serie de actividades y experiencias para acercar al estudiante hacia el estudio de fenómenos eléctricos implicados en el comportamiento neuronal. La estrategia la dividió en 3 actividades donde hace que el mismo estudiante (tener en cuenta que la población que el estudiante de este trabajo de grado escogió fue estudiantes de décimo grado del colegio Rodrigo Lara Bonilla) viva y

experimente con ayuda del maestro todo lo referido a estímulos nerviosos: neuronales (electroencefalograma) y musculares (electromiograma) gracias a un software, Labtutor, que le ayudó a registrar las señales eléctricas, para después analizar las ideas de sus estudiantes a partir de preguntas moderadoras.

Este trabajo de grado se configura en un referente investigativo para esta investigación ya que ilustra algunos elementos como: el aprovechamiento tecnológico para favorecer el acercamiento de los estudiantes a la idea de velocidad de conducción, y todo lo referido al marco conceptual que explica los fenómenos eléctricos que allí se generan (actividad neuronal), brindando elementos teóricos para complementar de manera más exacta y profunda el marco conceptual, también para saber desde dónde partir y generar un buen hilo conductor para abordar y relacionar el campo de conocimiento (la física) con otro (psicología). Junto a lo anterior el resultado más relevante que se pudo evidenciar en este referente, fue la implementación de actividades que acercaron a los estudiantes al fenómeno de las señales eléctricas de las neuronas, el comportamiento de la sinapsis respecto a la emoción o sensación de la situación y el uso pertinente de las TIC que identificó y mostró el fenómeno haciéndolo más aprehensible para el estudiante.

2. Por otro lado, Cárdenas, S. y Guevara, G. (2006) en su trabajo de grado *Una aproximación a la percepción del cerebro subjetivo y la integración del mundo externo mediante los procesos neuronales* tuvieron como objetivo general el realizar una primera aproximación del papel que desempeña la actividad neuronal en la percepción del mundo y construcción del cerebro subjetivo. Las autoras hacen un abordaje teórico muy específico sobre la arquitectura y funcionamiento neuronal, en donde refieren varios aspectos biológicos de la neurona como célula, toda su estructura, como: bombas de sodio-potasio, sodio regulado por el voltaje y potasio regulado por el voltaje, además del registro del potencial de membrana, entre otros, donde se caracteriza a la neurona.

Este trabajo se configura como referente investigativo para el presente trabajo de grado, porque permite tener un apoyo teórico interdisciplinar para una

construcción rigurosa y más robusta del mismo, dando un acercamiento desde la fisiología al concepto de canales iónicos, membrana celular, entre otros. El aporte más relevante y en concordancia con lo anterior fue el manejo teórico de la estructura de la neurona, dando explicación al funcionamiento de los canales que son importantes para la generación del impulso nervioso. También dio un sustento al concepto neuropsicológico, donde se habla de la trascendencia de procesos orgánicos o fisiológicos del cerebro a procesos psicológicos.

2.1.2 Referentes nacionales

Universidad Nacional de Colombia

1. Ahora bien, Quinche, S (2015) en su trabajo de grado *La enseñanza de la transmisión del impulso nervioso desde el contexto de la física, la química y la biología para estudiantes de octavo grado*, tiene como finalidad la construcción de una unidad didáctica referida a la conducción y transmisión del impulso nervioso. La unidad didáctica fue construida por la autora en el año 2014 donde tenía tres categorías; la metodología, la forma de evaluación, y la inclusión de conceptos previos, las cuales se componían por subcategorías y giraban en torno a la temática del impulso nervioso. Este primer trabajo le ayudó a explorar las ideas previas del estudiante respecto a composición y forma de la neurona, y evaluar qué conceptos eran desconocidos para ellos. La construcción de una encuesta diagnóstica le permitió evidenciar que falencias tenían los estudiantes respecto a las tres disciplinas empleadas en esta investigación.

Lo que generó un gran interés de esta investigación, fue la integración de varios campos del conocimiento como la física, la química y la biología. También la construcción del enfoque disciplinar y pedagógico tuvieron una gran repercusión en la formalización teórica del presente trabajo. Adicional a lo anterior, la autora brindó elementos claves para diseñar un cuestionario investigativo, que permite obtener información fiel sobre los saberes previos de los estudiantes.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

2. Continuando, Pineda, I. (2008) en su trabajo de grado *Conceptos físicos en la interpretación del estudio cerebral* implementó una propuesta didáctica basada en el diseño de una página Web, pensada especialmente para estudiantes de grado once que tenían conocimientos previos sobre ondas y electricidad. Se aplicó en un grupo de quince estudiantes quienes reconocieron aspectos importantes y significativos de la propuesta, tales como material de apoyo, y el uso de las tecnologías de la información para el entendimiento de conceptos físicos, enfocados en temáticas de fisiología del cerebro y el funcionamiento neuronal desde una perspectiva interdisciplinar entre física y biología.

Este trabajo se constituye como referente investigativo ya que sigue aportando elementos de corte interdisciplinar y enmarca la construcción de una unidad didáctica para cierta población de estudiantes. Al mismo tiempo provee bibliografía pertinente como la de R. Llinás (2001) *El cerebro y el mito del yo*, para entender la forma en la que se comporta el cerebro, donde identifica propiedades funcionales intrínsecas que fueron descubiertas hace más de 30 años, y que tal actividad está directamente relacionada con la activación continua de canales iónicos transmembranales que permiten la entrada de los iones cargados al interior de las neuronas.

2.1.3 Referentes internacionales

Universidad Autónoma de México

1. Por otro lado, la facultad de medicina de la UNAM (2019) en su *Unidad temática I biofísica de la membrana celular. Potencial de membrana*, tiene como intención la comprensión del potencial de equilibrio o también llamado el potencial de membrana. En su introducción hace un acercamiento a las concentraciones de iones dentro y fuera de la célula y como estos junto a la temperatura, la permeabilidad de la célula a ciertos iones y el gradiente de concentración, logran un cambio en el potencial (que es medido en voltaje). Esta

unidad también hace un acercamiento a algunas ecuaciones; la primera de ellas logra calcular el potencial eléctrico necesario para que no haya un paso exacerbado y neto de iones (sodio, potasio y cloro) tanto fuera como dentro de la célula provocado por el gradiente de voltaje, a esta ecuación se le denomina Nernst, que evalúa la diferencia de potencial en la membrana celular donde equilibra exactamente el gradiente de voltaje de cada ion de forma individual. La segunda ecuación describe el potencial de los tres iones inmersos en concentraciones diferentes, tanto fuera como dentro de la célula, es un cálculo menos ideal y más real, ya que en el espacio intra y extracelular no existe solo un ion, sino que hablamos de los tres anteriormente nombrados en grandes cantidades, a esta ecuación se le denomina Goldman-Hodgkin-Katz.

Esta unidad temática se convierte en un referente investigativo clave para este estudio, ya que abarca conceptos relevantes como gradiente de voltaje, diferencia de potencial en la membrana, temperatura, permeabilidad, gradiente de concentración, relacionados con el potencial desde un aspecto interdisciplinar respecto al potencial de membrana.

2. Para finalizar, el libro *Neurofisiología para estudiantes de medicina* de Romero, F. Mansilla, A. y Rivera, A (2019) tiene como principal objetivo abordar el cerebro humano desde varios campos del conocimiento. El primer capítulo trata sobre el sistema nervioso que se relaciona con el funcionamiento del cerebro y todas sus partes, hasta llegar al uso de este en el ser humano. El capítulo que interesa a la investigación es el cuarto, ya que allí habla sobre señales eléctricas y morfología de la neurona, pero lo que más llama la atención es la sección que menciona las propiedades eléctricas de las membranas, y al estar relacionadas con el proceso de potencial de membrana, es pertinente tomar esa sección como referente, ya que describe variables físicas a partir de un circuito equivalente al comportamiento de la membrana, es por ello que este documento funciona como referente para la investigación ya que aporta material teórico a la disciplina (física) pero también de forma interdisciplinar, al dar conceptos fisiológicos desde la estructura de la neurona.

2.2. Marco conceptual

La realización del presente marco conceptual demanda un conjunto de retos debido a la interdisciplinariedad que implica el estudio de la neurona. Sin embargo, vale la pena resaltar que dentro de la propuesta a desarrollar se hará un énfasis particular sobre los conceptos físicos (eléctricos) implicados en el potencial de membrana, más que en los propios aspectos fisiológicos de la misma, así como en los contenidos específicos relacionados con el componente pedagógico que posibilita el ejercicio educativo de esta propuesta.

En este orden de ideas, a continuación, se presentan algunos de los conceptos que son resultado de un ejercicio de indagación riguroso por parte del maestro en formación, que permitirá, a su vez, esclarecer los elementos necesarios para un desarrollo argumentado y fundamentado de la propuesta de enseñanza en cuestión.

Estructura de la neurona

En primer lugar, y de acuerdo con Kolb. B y Whishaw (2006), la neurona está compuesta por dendritas (ramificación cuya función es recibir la información proveniente de otras neuronas), cuerpo celular o soma (es allí donde esta información es procesada para ser enviada al axón), axón (prolongación que permite guiar la información procesada en el cuerpo celular, permeabilizando los canales y electrificándose, generando el impulso nervioso que se transporta en un único sentido), botón terminal o terminal axónica (donde se encuentran los neurotransmisores en una sinapsis química, los cuales son expedidos hacia las dendritas de otra neurona al llegar el impulso nervioso, transmitiendo la información), y la vaina de mielina (la cual funciona como aislante para que la información pueda saltar por los nódulos de Ranvier y llegar más rápido a los botones terminales). Cabe resaltar que cada neurona puede tener miles de dendritas, pero un solo y único axón, por tal motivo la información es dirigida en un solo sentido y en línea recta. *ver figura 1.*

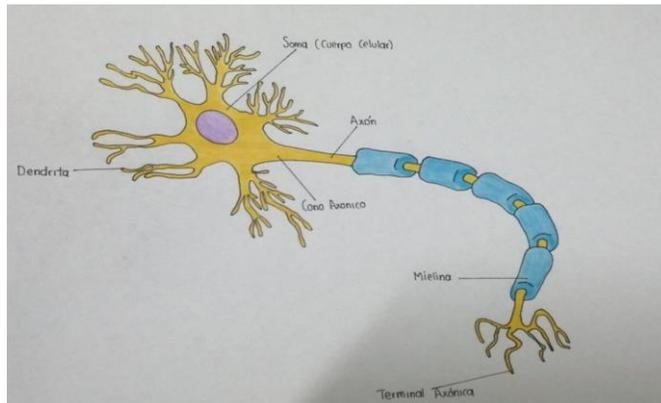


Figura 1. Anatomía de una neurona. Adaptada de Khan Academy. (s.f.) Se evidencia las partes básicas de la neurona desde las dendritas hasta la terminal axónica. Fuente: <https://es.khanacademy.org/science/biology/human-biology/neuron-nervous-system/a/overview-of-neuron-structure-and-function>

Una parte fundamental de la neurona es la membrana celular, que rodea a la célula separando al líquido intracelular del extracelular compuesto por agua, en la que están disueltos iones electrolíticos y así, permite a la célula funcionar como una unidad independiente. La estructura especial de la membrana hace posible esta separación. Según Kolb. B y Whishaw. I (2006): “*La membrana celular está constituida por una bicapa fosfolipídica*”, que en términos generales es lo que impide que ingrese líquido innecesario al espacio citoplasmático de la célula, ya que está constituida por una estructura hidrofílica en su cabeza (tolera el agua) y una parte hidrofóbica en sus prolongaciones, (no tolerante al agua debido a que está compuesta por lípidos), que impide la salida neta de líquidos, evitando la deshidratación de la célula. *ver figura 2.*

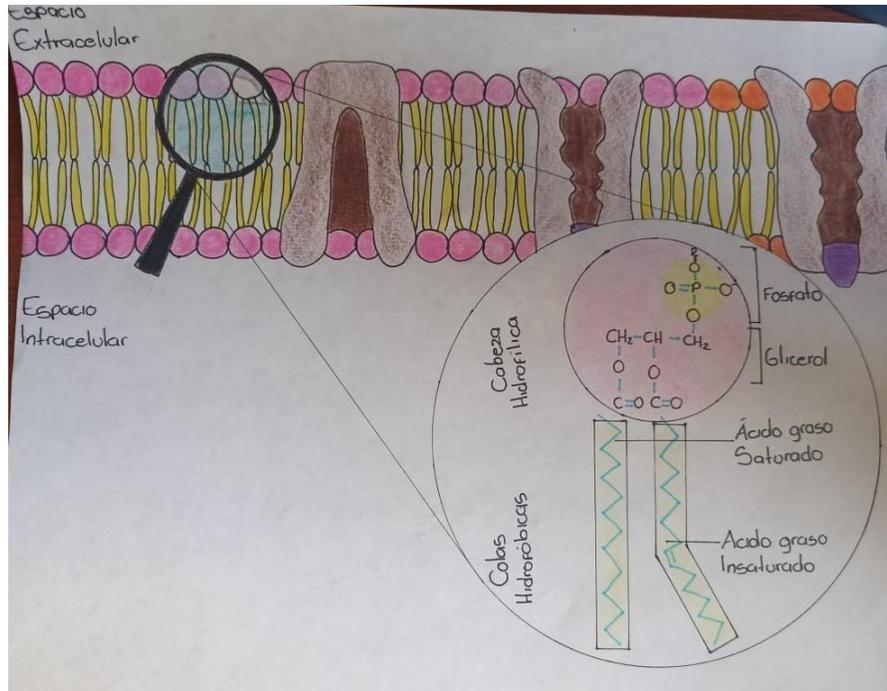


Figura 2. Adaptada de Alfaro. M, (2019), capítulo 5 potencial de membrana y potencial de acción. Se hace un zoom de la membrana celular donde se logra una explicación gráfica de las bicapas fosfolipídicas que conforman la membrana, donde se especifica que están compuestas por una parte hidrófoba (lípidos, los filamentos) y una parte hidrófila (tolera el agua, la cabeza). Fuente: Resumen cap 4 y 5 – Michelle Alfaro (home.blog)

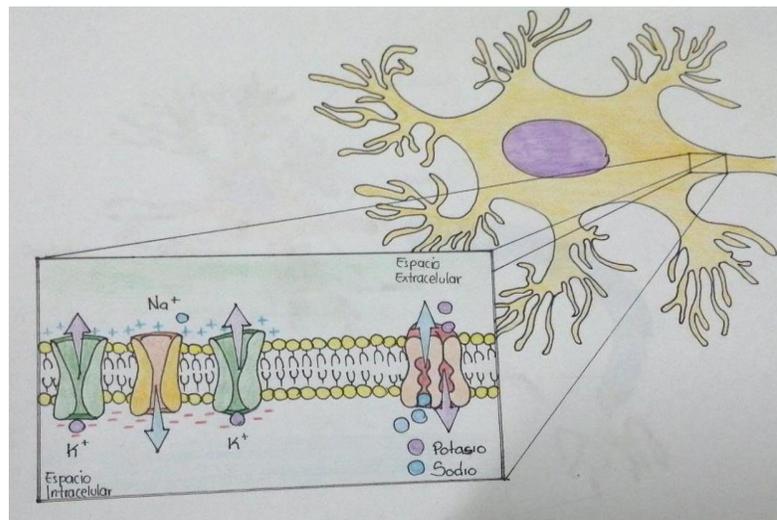


Figura 3. Adaptado de Khan Academy (2021), Anatomía de una neurona. Sistema nervioso II: señales eléctricas y químicas en las neuronas se hace un zoom del cono axónico, evidenciando allí la membrana celular y los canales iónicos de sodio (Na⁺), canales iónicos de potasio (K⁺) y la bomba sodio potasio que hace un intercambio equilibrado de estos iones.

Fuente: <https://es.khanacademy.org/science/biology/human-biology/neuron-nervous-system/a/overview-of-neuron-structure-and-function>

La membrana celular funciona como barrera, la única forma en que los iones (en este caso específico sodio y potasio) pudiesen entrar o salir, es con la presencia de túneles de acceso transmembranales denominados canales (activos y pasivos) y bombas iónicas de sodio-potasio, y canales compuerta que cambian su forma dependiendo de factores físicos como la temperatura y el ambiente eléctrico (Kolb. B y Whishaw. I, 2006). Se pueden evidenciar los canales iónicos en su proceso de apertura y cierre para el ingreso o salida de los iones, de acuerdo con la permeabilidad de cada uno (*ver figura 3*).

Canales, iones y gradiente de concentración

En concordancia con lo anterior, los canales iónicos son un tipo de proteínas específicas que se encuentran atravesando la membrana celular; estos se caracterizan principalmente por tres aspectos: conducir iones, reconocer y seleccionar iones específicos, y abrirse y cerrarse al ser estimulados eléctricamente.

Adicional, estas proteínas poseen una conductancia alta (capacidad que posee un material para conducir cargas eléctricas con facilidad) respecto a los iones a los que son permeables, y aunque se comportan como una resistencia frente a aquellos iones a los que el canal es impermeable, se prefiere referirse a los canales de acuerdo con su conductancia, pues “esta variable proporciona una medida directa de la eficiencia con la que un canal conduce los iones” (Kandel. E, Schwartz. J, Jessell. T., 2000), permitiendo identificar la permeabilidad de cada canal frente a cada ion.

Existen dos tipos de canales: los pasivos permanecen abiertos y no se ven afectados por el potencial existente a través de la membrana. Dentro de este grupo de canales, algunos de ellos son permeables a cationes o aniones, permitiendo su paso a través de la membrana de acuerdo con la carga de cada ion. No obstante, en su mayoría, los canales pasivos son selectivos para el tipo de ion (Na, K, Cl, Ca).

Por su parte, los canales activables o activos se abren y se cierran en respuesta a varias señales, estos canales se encuentran cerrados cuando la membrana está en reposo y se abren cuando hay un cambio en el potencial de esta.

Ahora bien, en los líquidos intracelulares y extracelulares de la neurona hay distintos tipos de iones, entre ellos, iones de sodio (Na^+) y potasio (K^+) con cargas positivas y iones con carga negativa como el cloro (Cl^-). Los iones con carga negativa se denominan

aniones, y los positivos cationes. En la siguiente tabla se pueden evidenciar las concentraciones de iones en el interior y exterior de la célula.

ION	Concentración intracelular (i)	Concentración extracelular (e)	Permeabilidad (P)
Na+ (sodio)	12 mM	145 mM	5
K+ (Potasio)	140 mM	4 mM	100
Cl- (Cloro)	4.2 mM	123 mM	10

Tabla 1. Datos obtenidos de la Facultad de medicina, UNAM (2019), muestra las concentraciones de los iones de sodio, potasio y cloro tanto fuera como dentro de la membrana celular, sus unidades están descritas en miliMol.

Según la tabla 1 se puede notar que dentro de la célula (espacio intracelular) hay una mayor concentración de iones de potasio (K⁺), y de sodio (Na⁺) hay una menor cantidad. Fuera de ella (espacio extracelular) hay una pequeña concentración de iones de potasio (K⁺), y de iones de sodio (Na⁺) hay una gran cantidad. Por efecto del gradiente de concentración, el cual indica que al existir una diferencia de concentraciones tanto fuera como dentro de la célula, se ocasiona un movimiento de sustancias de una zona de mayor concentración a una de menor concentración (Rigalli, A. 2017)), la sustancia cargada iónicamente en mayor concentración tenderá a ir a la zona de menor concentración, ya que hay una carencia de iones en cierto espacio de la célula (Kolb. B y Whishaw 2006). Un ejemplo claro del gradiente de concentración se identifica cuando la célula está pasando por el proceso de potencial de membrana.

Potencial de membrana (reposo)

El fenómeno de potencial de membrana o potencial de reposo como también se le denomina, se lleva a cabo en la membrana celular que, cuando se encuentra en reposo, tiene un exceso de carga positiva en la superficie exterior, y de carga negativa al interior de la célula. Esta separación de cargas genera una diferencia de potencial (voltaje) denominada potencial de membrana (V_m) que se define como:

$$Vm = V_{int} - V_{ext} (1)$$

Donde V_m es el potencial de membrana, V_{int} es el potencial en el interior de la neurona y V_{ext} el potencial en el exterior de esta. En otras palabras, el potencial de membrana es la diferencia de potencial eléctrico entre el interior y exterior de la célula nerviosa.

Las señales eléctricas surgen a partir de un cambio en el flujo de corriente (tránsito de cargas a través de un medio conductor) que atraviesa la membrana, provocando una alteración en el potencial de reposo. Los cationes y aniones se mueven por los canales al interior y exterior de la célula. La dirección del flujo de corriente se define como el tránsito neto de cargas positivas, por lo que en una solución iónica los cationes se moverán en el sentido de la corriente y los aniones en el sentido opuesto. Esta diferencia de potencial o voltaje (flecha naranja figura 6), es definido como la fuerza electromotriz exacta para evitar la salida neta de iones hacia el exterior o viceversa de la célula, manteniendo en equilibrio la concentración de iones, y a su vez permitiendo que la membrana continúe en reposo. El valor de esta fuerza electromotriz en milivoltios (mV) representa el potencial de equilibrio específico para cada ion (E_K , E_{Na} , o E_{Cl}), lo que se denomina ecuación de Nernst

Ecuación de Nernst y Goldman

La ecuación de Nernst permite hallar de manera cuantitativa la fuerza electromotriz con la que se puede contener la salida o el ingreso excesivo de iones, gracias al gradiente de concentración. Esta ecuación muestra el voltaje contrario al movimiento natural de los iones a causa de la fuerza eléctrica generada entre iones de diferente carga. Es así, que *“La ecuación de Nernst expresa la condición de equilibrio de manera cuantitativa y permite calcular el potencial de reposo teórico de la membrana, si se conoce la relación de concentraciones iónicas interna y externa de cada ion”* (Kandel. E, Schwartz. J, Jessell. T., 2000).

$$Vm = \frac{RT}{ZF} \ln \frac{C_e}{C_i} (2)$$

Donde V_m es el potencial de membrana, R es la constante del gas ideal, T es la temperatura absoluta, Z es la carga del ion, F es la constante de Faraday, C_e es la concentración del ion en el espacio extracelular y C_i es la concentración del ion en espacio intracelular.

Si se quiere analizar la fuerza electromotriz o potencial de la membrana relacionando y teniendo en cuenta todos los iones inmersos en el espacio intra y extracelular, en este caso el de potasio, sodio y cloro, la ecuación de Goldman es la adecuada para un sistema más complejo.

$$V_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_k(K^+)e + P_{Na}(Na^+)e + P_{Cl}(Cl^-)i}{P_k(K^+)i + P_{Na}(Na^+)i + P_{Cl}(Cl^-)e} \quad (3)$$

Donde V_m es el potencial de membrana, R es la constante del gas ideal; T es la temperatura absoluta; F es la constante de Faraday, P_K , P_{Na} y P_{Cl} son las permeabilidades de cada ion (ver tabla 1). Esta ecuación se aplica solamente cuando el potencial de membrana o de reposo no está variando, y explica que cuanto mayor sea la permeabilidad de la membrana (tolerancia de la membrana a una entrada de iones por los canales sin alterar su composición) mayor será la entrada de iones a la célula. Cuando la permeabilidad de un ion es más alta que las demás, la ecuación de Goldman se puede reducir a la ecuación de Nernst para ese ión. (Kandel. E, Schwartz. J, Jessell. T 2000).

Un ejemplo donde puede evidenciarse la salida neta de sustancia desde el interior de la célula hacia el exterior es el movimiento del ion potasio (K^+). En la *figura 4*, se puede observar de manera esquemática el ejemplo del potasio, donde dentro de la célula hay una gran cantidad de iones expresados con la letra K mayúscula y fuera hay muy pocos iones expresados con la letra k minúscula. Ya en la *figura 5* se observa el gradiente de concentración, donde los “+” son los iones cargados positivamente del potasio que están saliendo de la célula; como dentro de ella hay una gran cantidad de aniones (A^-) proteicos, el interior de la célula quedará cargado negativamente. Para el caso del ion de potasio el potencial hallado con la ecuación fue de -70 mV, el signo

negativo se debe a la polaridad que adquiere al interior de la célula. Este potencial de ion potasio se aproxima al valor del potencial de reposo de la membrana.

Adicionalmente, se puede evidenciar que la membrana celular se convierte en un condensador, donde el espacio intracelular y extracelular contienen los iones electrificados negativa y positivamente y la pared de la membrana celular funciona como un dieléctrico (material de baja conductividad) *ver figura 6*.

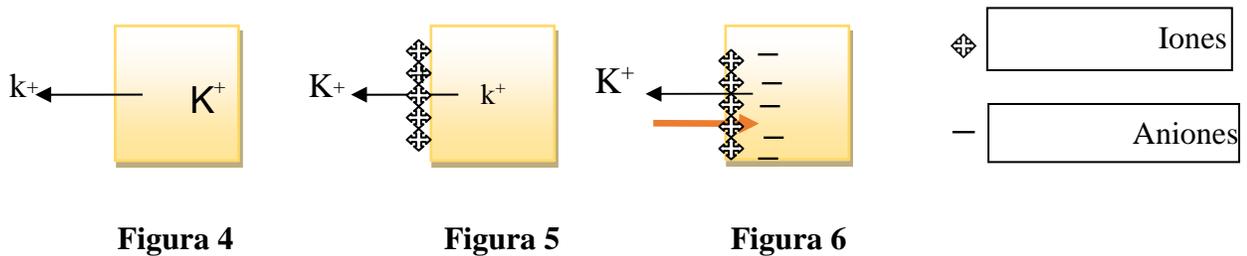


Figura 4, 5 y 6 adaptación. Tomado de Tuvi digital (2016), fisiología- potencial de difusión, potencial de membrana, potencial de Nernst. De allí se puede describir y ver el proceso de salida constante de iones de potasio al espacio extracelular de la célula y como el potencial de membrana impide la salida neta de iones de sodio.
Fuente: Fisiología - Potencial de difusión, potencial de membrana, potencial de Nernst - YouTube

Asimismo, en la *figura 7* se puede observar de manera esquemática el ejemplo para el sodio (Na^+), donde fuera de la célula hay una gran cantidad de iones (expresados con las letras Na de un mayor tamaño) y dentro hay muy pocos iones expresados (con las letras Na de un menor tamaño), ya en la *figura 8* se puede evidenciar el gradiente de concentración, donde los “+” son los iones cargados positivamente del sodio que están entrando a la célula. Esta movilidad de iones también implica un transporte de cargas positivas, dejando el exterior electrificado negativamente por la ausencia de iones de sodio positivos. Para este caso del ion de sodio, el potencial hallado con la ecuación de Nernst fue de 40 mV. Este potencial del ion sodio se aproxima al potencial de acción de la célula, sin embargo, no es exactamente el mismo valor, puesto que en realidad se encuentran movilizandolos otros iones al mismo tiempo.

En la *figura 9* se puede observar nuevamente, que la membrana celular se convierte en un condensador, donde el espacio intracelular y extracelular contienen los iones

electrificados negativa y positivamente, y la pared de la membrana celular funciona como un dieléctrico (material de baja conductividad).



Figura 7

Figura 8

Figura 9

Figura 7, 8 y 9 adaptación. Tomado de Tuvi digital (2016), fisiología- potencial de difusión, potencial de membrana, potencial de Nernst, figura. De allí se puede describir y ver el proceso de entrada constante de iones de sodio al interior de la célula y como el potencial de membrana impide la entrada neta de iones de sodio.

Fuente: Fisiología - Potencial de difusión, potencial de membrana, potencial de Nernst – YouTube

Circuito eléctrico equivalente

Teniendo en cuenta lo anterior, un modelo matemático simple derivado de un circuito eléctrico es útil para describir los tres mecanismos básicos que utiliza la neurona para la generación de señales eléctricas, como lo son los canales iónicos, los gradientes de concentración y la capacidad de la membrana para almacenar carga eléctrica (Kandel. E, Schwartz et J, Jessell. T, 2000). En este modelo que se denomina circuito equivalente, todas las propiedades funcionales de la neurona se representan mediante un circuito compuesto por elementos conductores, como resistencias eléctricas y la batería que funciona como condensador eléctrico *figura 10*.

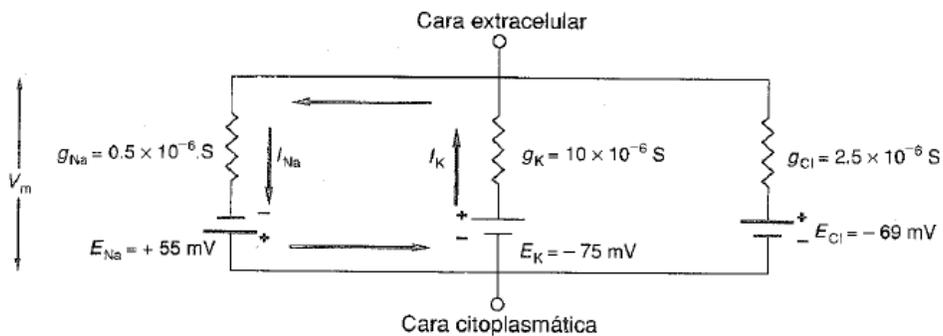


Figura 10. Kandel. E, Schwartz. J, Jessell. T (2000), Neurociencia y conducta: comunicación intraneuronal, (pp. 156-157). A. Circuito eléctrico equivalente incluyendo la vía del Cl.

Fuente: <http://www.anep.edu.uy/ipa-fisica/document/material/primer/2008/espacio/kandel.pdf>

El papel que juegan los iones electrolíticos se entiende a través del movimiento (salida y entrada de iones al espacio intra y extracelular) generando una diferencia de potencial en la membrana celular de la neurona, como lo indica Romero, F. Mansilla, A. Rivera, A (2019): “cuando dos cargas diferentes son separadas en el espacio, se produce una diferencia de potencial o voltaje, y entre mayor sea la cantidad de carga separada, mayor será el voltaje”.

Esa diferencia de potencial en la membrana producida por cada ion y calculada con la ecuación de Nernst representadas en esta imagen como E_{Na} (potencial de equilibrio del ion de sodio), E_K (potencial de equilibrio del ion de potasio) y E_{Cl} (potencial de equilibrio del ion de cloro) funciona como batería acumulando la carga, y los canales iónicos como resistencias (R) ya que permiten únicamente a iones específicos pasar dentro o fuera de la célula.

En la figura 10 se puede evidenciar una variable g , esta hace referencia a la conductancia de cada ion (la capacidad de conducir energía eléctrica). Dicha conductancia puede ser escrita para cualquier circuito como $g = 1/R$, es decir, el inverso de la resistencia, ya que entre menos resistencia tenga el material aumenta la conductividad, pero para el caso de la membrana la conductancia está dada por $g = N \cdot \gamma$ donde N es el número de canales iónicos pasivos (no requieren un gasto energético adicional, solo se mueven de un espacio a otro inercialmente gracias al gradiente de voltaje) y γ es la conductancia individual de cada ion *Ver figura 10*.

En el modelo del circuito equivalente cada canal iónico se puede representar como una resistencia (ejemplo resistencia del potasio R_K) por lo que la corriente iónica que fluye a través de los canales puede calcularse gracias a la ley de Ohm $I = V/R$ sin embargo, los electro fisiólogos describen la resistencia iónica como la conductancia individual de cada ion. Donde $g = 1/R$ y la ecuación de Ohm para este caso resultaría de la siguiente manera $I = V \cdot g$. (Kandel. E, Schwartz. J, Jessell. T 2000).

Para darle sentido a los conceptos físicos, se propone el circuito equivalente como una forma de analizar las propiedades de las neuronas desde aspectos cuantitativos respecto al potencial de reposo. Para hacer más sencillos los cálculos, no se hace uso de lo referente a canales de cloro (Cl^-), solamente se trabaja con los canales pasivos de sodio (Na^+) y potasio (K^+), tampoco se tiene en cuenta cómo influye la bomba

sodio-potasio, ya que no es significativo, y puesto que al hacer referencia al potencial de reposo la V_m no varía, también se obvia la capacitancia (Ver figura 11).

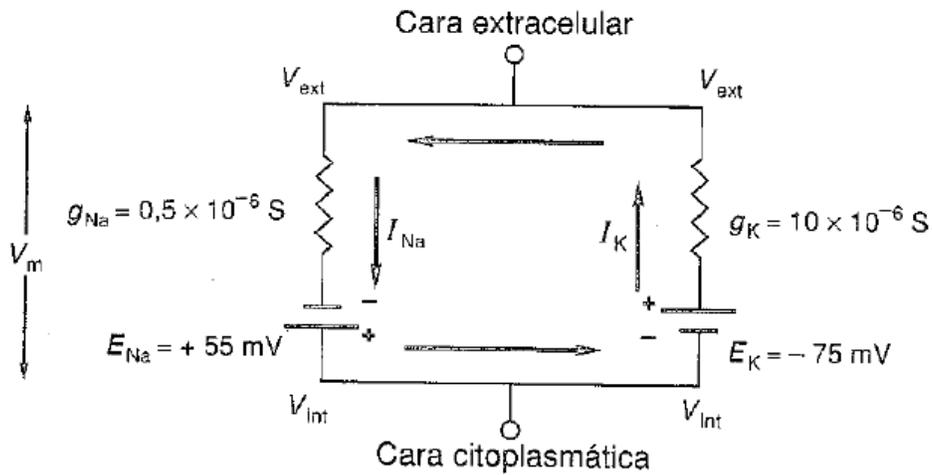


Figura 11. Kandel, E, Schwartz, J, Jessell, T (2000), *Neurociencia y conducta: comunicación intraneuronal*, (pp. 156). A. Circuito eléctrico equivalente omitiendo la aportación del cloro (Cl^-) en pro de simplificar los cálculos para hallar el potencial de reposo.

Fuente: <http://www.anep.edu.uy/ipa-fisica/document/material/primer/2008/espacio/kandel.pdf>

Teniendo en cuenta lo anterior, se reconoce que cuando la membrana está en el proceso de potencial de reposo el valor de este se aproxima al del potencial de equilibrio del ion K^+ , ya que en la membrana hay más canales pasivos permeables a dicho ion. Es así como Kandel, Schwartz y Jessell (2000) deducen, a partir de un circuito equivalente y desde la fundamentación matemática de la Ley de Ohm, una ecuación para encontrar el potencial de reposo de la célula de la siguiente forma:

$$(1) V = RI$$

Esta primera ecuación relaciona el voltaje (V), la corriente (I) y la resistencia (R) inmersa en un circuito eléctrico. Se puede evidenciar que, para este caso, el voltaje corresponde a la diferencia entre el potencial de membrana (V_m) y el potencial de equilibrio (E_i) de un ion en específico.

$$(2) V = V_m - E_i$$

Considerando la fundamentación teórica descrita en líneas anteriores, en la ecuación 3 puede observarse que la resistencia (R) es el inverso de la conductividad (g_i)

$$(3) R = \frac{1}{g_i}$$

Reemplazando la ecuación 3 en la ecuación 1 se obtiene que el voltaje (V) es igual a

la corriente (I) sobre la conductancia del ion (g_i).

$$(4) V = \frac{I}{g_i}$$

Del mismo modo, tomando la ecuación 2 como el voltaje (V), se tiene que la diferencia entre el potencial de membrana (V_m) y el potencial de equilibrio (E_i) de un ion serán iguales a la corriente (I) sobre la conductancia de este (g_i), evidenciada en la ecuación 5.

$$(5) V_m - E_i = \frac{I}{g_i}$$

Entendiendo que en reposo el potencial de membrana (V_m) es constante, es importante recordar que la suma de corrientes (corriente neta) debe ser igual a cero, ya que de lo contrario la separación de cargas negativas y positivas en el interior y exterior de la membrana variaría, alterando el valor de V_m ; por consiguiente, I_{Na} se iguala a I_K pero con signo opuesto como se demuestra en la ecuación 6, e igualando a 0 se tiene la ecuación 7.

$$(6) I_{Na} = -I_K$$

$$(7) I_{Na} + I_K = 0$$

Despejando la corriente de la ecuación 5, se obtiene que la multiplicación de la conductancia por la diferencia de potenciales permite encontrar la corriente para un ion específico, sea potasio (K) o sodio (Na), como se ve en las ecuaciones 8 y 9.

$$(8) I_K = g_K(V_m - E_K)$$

$$(9) I_{Na} = g_{Na}(V_m - E_{Na})$$

Reemplazando la igualdad de la corriente del potasio y del sodio, respectivamente, obtenidas en la ecuación 7, se tiene:

$$(10) g_K(V_m - E_K) + g_{Na}(V_m - E_{Na}) = 0$$

Luego de aplicar la propiedad distributiva de la multiplicación para eliminar los paréntesis de la ecuación, se obtiene la siguiente ecuación:

$$(11) g_K V_m - g_K E_K + g_{Na} V_m - g_{Na} E_{Na} = 0$$

Juntando términos semejantes, es decir, potenciales de membrana y conductancias según corresponda, se tiene:

$$(12) g_K V_m + g_{Na} V_m - g_K E_K - g_{Na} E_{Na} = 0$$

Después de igualar los potenciales de membrana con las conductancias de los iones sodio y potasio, se logra la ecuación 13.

$$(13) g_K V_m + g_{Na} V_m = g_K E_K + g_{Na} E_{Na}$$

Ahora bien, luego de tomar el potencial de membrana como factor común de g_K

(Conductancia del potasio) y g_{Na} (Conductancia del sodio) ver ecuación 14, se despeja la expresión para hallar el potencial de membrana (V_m) relacionando los dos iones (K y Na) en un circuito equivalente (ecuación 15).

$$(14) V_m(g_K + g_{Na}) = g_K E_K + g_{Na} E_{Na}$$

$$(15) V_m = \frac{g_K E_K + g_{Na} E_{Na}}{(g_K + g_{Na})}$$

Para finalizar, es así como, a partir de esta ecuación puede identificarse el potencial de membrana que sufre la célula nerviosa respecto a dos iones en específico (K y Na), relacionando las conductancias y los potenciales de equilibrio para cada ion. Es importante recordar que, para hallar el potencial de equilibrio, se puede utilizar la ecuación de Nernst como se explicó anteriormente, variando los valores de temperatura y conductancia respectivamente, y este cambio puede observarse en la siguiente tabla.

T(°C)	5	10	15	20	25	30	35	40
$G_{Na}(S/cm^2)$	0.120	0.131	0.161	0.230	0.385	0.693	7.800	7.924
$G_K(S/cm^2)$	0.036	0.037	0.038	0.042	0.052	0.055	1.442	1.600

Tabla 2. Conductancias específicas máximas de sodio y potasio obtenidas por ensayo y error al realizar cambios en la temperatura. Fuente: Relación entre conductancias de sodio y potasio al estilo Hodgkin y Huxley y su efecto en la propagación de potenciales de acción a 40°C. Hernández y Hernández. 2011. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-55522011000200007

Aunque todo lo desarrollado en cuanto a lo disciplinar es de gran relevancia, no es posible pensarse un ejercicio de aprendizaje y enseñanza sin incluir conceptos y elementos pedagógicos que fundamentan el proyecto respecto a la propuesta de unidad didáctica, por lo cual, a continuación, se desarrollan los conceptos estructurantes de este trabajo, en pro de comprender las bases en las cuales se sustenta el ejercicio de investigación desde el ámbito educativo.

Interdisciplinariedad

Cuando se habla de interdisciplinariedad, se entiende este concepto como la relación transversal que debe haber entre uno y más campos del conocimiento para la

explicación de cierta temática que requiera un grado de profundidad más alto. Según Carvajal (2010): “*el prefijo inter (entre), indica que entre las disciplinas se va a establecer una relación*”. Es importante reconocer de lo anterior que todo debe tener un hilo conductor, se debe apostar a la impartición de temáticas (en específico en ciencias) para lograr que el estudiante tenga andamios o soportes de los que se pueda sujetar para poder argumentar con mayor propiedad diferentes temáticas. La interdisciplinariedad se configura como una oportunidad de aprender para el estudiante, ya que le permite comprender los mismos fenómenos desde otro campo del conocimiento, permitiéndole llegar al mismo objetivo de enseñanza con ayuda de otras disciplinas. También es una gran herramienta para el docente ya que al explicar una temática desde otra disciplina le permite nutrir su conocimiento y logra identificar otras explicaciones además de la que él imparte.

Al implementar este aspecto en el ejercicio de enseñanza - aprendizaje no se busca seguir un desarrollo unidireccional en donde el docente dicta la clase y el estudiante escucha, sino permitir la retroalimentación y construcción de conocimiento en aula y de forma conjunta, y para poder lograr a esto, deben tenerse en cuenta dos aspectos claves al hacer uso de la interdisciplinariedad al enseñar, 1) el tiempo requerido para la preparación de clases y 2) el interés por desarrollar proyectos interdisciplinarios para los estudiantes que generen mayor motivación en el aprendizaje (Lenoir, 2013).

Ahora bien, cabe aclarar que al tratar de introducir esta estrategia de enseñanza en las escuelas o en las instituciones educativas, en ciertas ocasiones tiende a haber una confusión entre la interdisciplinariedad escolar con la interdisciplinariedad científica. Se sabe que es de gran interés indagar en aspectos investigativos desde la escuela, pero es menester comprender que para llegar allí se debe tener en cuenta que la introducción de temáticas que abordan a otras debe hacerse de manera procesual, pues no se busca generar conocimiento totalmente nuevo, sino difundir y acercar a los objetos de conocimiento ya existentes. *Ver tabla 3.*

Interdisciplinariedad científica	Interdisciplinariedad escolar
<i>Finalidades</i>	
Su finalidad es la producción de nuevos saberes y dar respuesta a necesidades sociales a través de: <ul style="list-style-type: none"> — el establecimiento de vínculos entre las ramas de la ciencia — la jerarquización y organización de disciplinas científicas — la estructuración epistemológica — la comprensión de diferentes perspectivas disciplinarias, restableciendo las conexiones a nivel comunicacional entre los discursos disciplinarios 	Su finalidad es la difusión del saber científico y la formación de actores sociales a través de: <ul style="list-style-type: none"> — la instalación de las condiciones adecuadas que permitan producir y apoyar el desarrollo de procesos integradores y la apropiación de saberes como productos cognitivos en los alumnos, lo que requiere de un ajuste de los saberes escolares a nivel curricular, didáctico y pedagógico
<i>Objetos</i>	
Tiene por objeto las disciplinas científicas	Tiene por objeto las disciplinas escolares
<i>Modalidad de aplicación</i>	
Implica la noción de investigación: <ul style="list-style-type: none"> — teniendo el saber como sistema de referencia 	Implica la noción de enseñanza, de formación: <ul style="list-style-type: none"> — teniendo como elemento de referencia al sujeto que aprende
<i>Sistema referencial</i>	
Aborda la disciplina como ciencia (saber erudito, homologado)	Aborda la disciplina como materia escolar (saber escolar) y por lo tanto un sistema referencial que no se limita a las ciencias
<i>Consecuencias</i>	
Conduce a la producción de nuevas disciplinas conforme a diversos procesos	Conduce a vínculos de complementariedad entre las disciplinas escolares

Tabla 3 Lenoir, Y (2013): Interdisciplinariedad en educación: una síntesis de sus especificidades y actualización. Interdisciplina I, núm. 1, p 65. Tabla que muestra la diferencia entre interdisciplinariedad científica y la que se implementa en la escuela. Fuente: <http://conexiones.dgire.unam.mx/wp-content/uploads/2017/09/b-Interdisciplinariedad-en-educación%CC%8In.-Especificaciones..pdf>

La tabla señala una diferencia importante entre estas dos interdisciplinas, en el apartado científico el sistema o marco referencial siempre serán las ciencias, y en el aspecto escolar, puede haber una integración de saberes o asignaturas ajenas a las ciencias, como lenguaje, artes, música, educación sexual, entre otras, además de que el objeto, la metodología y las finalidades de ambas cambian entre sí.

A partir de lo anterior y teniendo en cuenta la temática principal a desarrollar en la presente investigación, la interdisciplinariedad se configura como una oportunidad que permite abordar y asociar conceptos propios de la física con tópicos relacionados con las neurociencias y la fisiología humana, esto atendiendo a que diferentes áreas del conocimiento requieren el apoyo de otras para poder comprender, apropiar y dar sentido a lo que se esté aprendiendo.

Para ello, es importante recordar que los estudiantes poseen conocimientos y saberes previos que también son totalmente valiosos para poder generar un proceso de aprendizaje adecuado, y para dar sentido a las temáticas que se abordan en clase

teniendo en cuenta dichos saberes, es clave hacer uso de un modelo pedagógico que permita al estudiante realizar una transformación de los preconceptos que posee para generar un conocimiento aprehensible.

Modelo pedagógico Conceptual y Modelo didáctico Cambio Conceptual

Teniendo en cuenta lo revisado respecto a los conceptos desde la física y la fisiología, este acercamiento permite reconocer los conocimientos necesarios para el aprendizaje y la enseñanza del potencial de membrana y, a su vez, para poder desarrollar las actividades experimentales que propendan al entendimiento del funcionamiento neuronal de una forma holística e interdisciplinar. Sin embargo, solo tener presente a la interdisciplinariedad no es suficiente para poder llegar a un ejercicio de enseñanza – aprendizaje adecuado. Zubiría (1994), en su libro *Tratado de la Pedagogía Conceptual*, nombra los principales aspectos y fines de la **pedagogía conceptual** que se relacionan con lo interdisciplinar, y que permiten realmente acercar a los estudiantes al conocimiento, en este caso, del potencial de membrana de la neurona. Entre estos se encuentra que esta enfatiza en modelar en la mente de los estudiantes los conceptos o instrumentos de conocimiento generales y abstractos (Zubiría, 1994), propios y esenciales a las diversas disciplinas científicas y tecnológicas, imprescindibles para comprender y hablar el lenguaje de las ciencias actuales, además Zubiría enuncia que la pretensión de esta es que en la mente de los niños y de los jóvenes se instalen los conceptos para comprender (primero) el lenguaje de la ciencia, de la tecnología y el arte; con el fin de (segundo) escribir ciencia, producir tecnología y hacer arte, y finalmente que privilegia por sobre el aprendizaje de datos particulares, el adquirir conceptos con los cuales interpretar y comprender el mundo, y el fortalecimiento de las operaciones intelectuales.

Por otro lado, se encuentran los dos principales postulados en los que se fundamenta este modelo pedagógico. En el libro *Gestión de aula. Experiencias del proyecto de mejoramiento*, en el capítulo 1. *Justificación del programa*, se hace referencia a cómo este modelo pedagógico asume como compromiso la formación de procesos educativos desde el **Triángulo Humano** *ver figura 12* el cual se encuentra

compuesto de tres sistemas: afectivo (valorar y hallarle significado a lo que se quiere y debe aprender), cognitivo (tener claridad y comprender los conocimientos) y expresivo (finalmente poder demostrar el dominio de algo a través de distintos lenguajes dentro de un contexto); en donde cada uno a su vez se encuentra conformado por dos clases de componentes, los instrumentos (Nociones, Proposiciones, Conceptos, Pre Categorías y Categorías) y las operaciones, los cuales, al interactuar entre sí y con el medio, originan los productos del funcionamiento de cada uno de esos sistemas. (Sierra, 2005)

El capítulo 2, *Fundamentos conceptuales de la gestión de aula desde Pedagogía Conceptual*, menciona que todo acto educativo requiere ser planteado y realizado de tal manera que impacte cada uno de los sistemas afectivo, cognitivo y expresivo desde el **Modelo del Hexágono** ver figura 13. Este propone diferentes elementos fundamentales por medio de los cuales se planea y desarrolla todo acto educativo. Al diferenciar propósitos, enseñanzas y evaluación cognitiva, afectiva y expresiva, se abre entonces la posibilidad de comprender que cada tipo de enseñanza demanda también una estrategia didáctica coherente con sus particularidades.

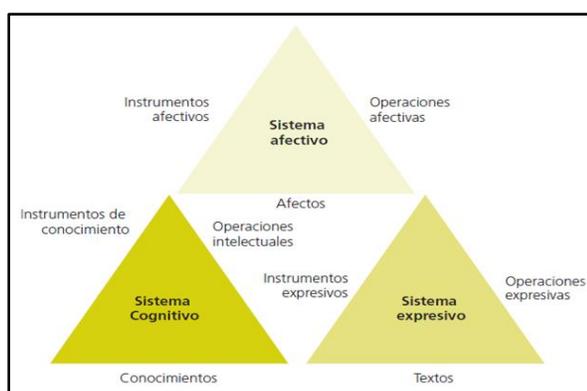


Figura 12. Sierra, A. (2005), *triángulo humano. Gestión de aula. experiencias del proyecto de mejoramiento.* (p.p. 136). Fundación Promigas. Colombia.
Fuente: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=573457>



Figura 13. Sierra, A. (2005), *triángulo humano. Gestión de aula. experiencias del proyecto de mejoramiento.* (p.p. 136). Fundación Promigas. Colombia.

Fuente: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=573457>

Ahora bien, a parte del modelo pedagógico es importante tomar en cuenta el modelo didáctico a trabajar, el cual es el cambio conceptual. Este, según Ruiz (2007), está enfocado en la transformación de presaberes y nociones cotidianas con las que llega el estudiante al aula de clase, creando un conflicto cognitivo entre lo que se sabe y la nueva información (conocimiento científico).

Es claro que el conocimiento científico no es totalmente compatible con el cotidiano con el que viven los estudiantes, y es esa inconformidad conceptual la que hace al educando “sujeto de su propio proceso de aprehensión y cambio conceptual, objetivo y propósito de este modelo” (Ruiz, 2007). En esta perspectiva, el rol del docente es diseñar y aplicar actividades con un gran poder explicativo que logren llevar a los estudiantes a ese proceso de conflicto que permita la consolidación de nuevas teorías y concepciones en ellos.

Cabe recalcar que en este modelo no se pretende dejar de lado totalmente a los pre saberes que los educandos tienen, puesto que en el proceso de enseñanza - aprendizaje los conocimientos cotidianos y científicos tienen el mismo nivel de importancia, pero es en este punto en que Ruiz habla de las objeciones que hay respecto al trabajo con este modelo, puesto que se puede poner al sujeto en una situación radical que puede llevar a una apatía por el aprendizaje de las ciencias en el momento en que el estudiante no siente valorado su conocimiento previo.

Este modelo didáctico fue escogido debido a su relación intrínseca con dos aspectos pedagógicos, en primer lugar, con el modelo pedagógico conceptual que será

el que se ponga en práctica al hablar sobre la reestructuración de preconceptos que se asemeja bastante al proceso de transformación de presaberes del que habla el cambio conceptual; y en segundo lugar la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel relacionada con el pensamiento científico y su importancia.

Tomando las bases de la transformación del conocimiento cotidiano de los estudiantes en conocimiento científico que menciona este modelo, articulándolas con el desarrollo cognitivo en el saber, ser y hacer que se propone la pedagogía conceptual permitirán llevar a cabo la implementación de la propuesta de unidad didáctica de manera exitosa por parte del docente que haga uso de esta.

Unidad didáctica

La docencia se enfrenta a grandes desafíos ante la presencia de nuevas generaciones que con el pasar del tiempo decrece su interés en el aprendizaje de nuevos fenómenos y procesos. Como lo dice la literatura, la vocación para saber reconocer diferentes dimensiones del sujeto que está aprendiendo debe ser inherente al docente ya que, si el maestro interioriza una temática en tan solo una noche para brindársela a la población que le corresponde y al mismo tiempo no reconoce que está trabajando con seres humanos, seres integrales, con problemáticas sociales, entre otros, en cierta medida no tiene la autoridad suficiente para ser reconocido como orientador de ideas y procesos ante la sociedad y la educación (Restrepo, 2010). Este es un abre bocas a lo que demarca esta sección en el enfoque pedagógico, un llamado de atención a todos los profesionales que tienen una relación estrecha en cuanto a la formación de personas. De este modo, se tendrán en cuenta los pasos y partes fundamentales que debe tener una unidad didáctica y junto a ello su concepto.

Una unidad didáctica según Área (1993) (como se citó en Quinche, 2015) se define como *“un segmento de enseñanza y aprendizaje significativo, configurado en torno a un tema o centro de interés”*. Así mismo, define ciertas características que debe contener la construcción de la unidad didáctica; el instrumento pedagógico debe articular objetivos, contenidos, metodología y evaluación en torno a un eje

organizador. Aquí es de suma importancia reconocer la teoría pedagógica del aprendizaje significativo que ayudará en gran medida a caracterizar la construcción de la unidad didáctica.

Como lo indica Escamilla (2008) (como se citó en Quinche, 2015): *“se pueden adicionar 2 o 3 competencias y se debe tener en cuenta que la construcción de la unidad didáctica no se puede convertir en una secuencia de actividades que lleven al estudiante a repetir procedimientos para obtener una respuesta”*. Es por ello, que la construcción de la unidad didáctica se debe convertir en un elemento o herramienta pensada y elaborada de manera concreta y adecuada para la recolección de datos e ideas con sentido y relacionadas con procesos fisiológicos y biofísicos que repercuten en psicopatologías, tanto de forma cualitativa como cuantitativa, de modo que se le permita al estudiante hacer una descripción de la problemática de un fenómeno o proceso.

Construcción de una unidad didáctica

En esta sección se dará una explicación de los pasos a tener en cuenta para la construcción de una unidad didáctica de aprendizaje, que ayudará en la elaboración de la propuesta pedagógica que tiene como objetivo general el presente trabajo. Es importante reconocer cada paso para una buena construcción de la unidad y así mismo dejar el insumo pertinente para la futura implementación. La unidad didáctica se comprende como una actividad compleja que funciona como contenido formativo para el docente que no se construye netamente a partir de elementos teóricos, sino que, al contrario, tiene como eje formador la práctica y la experimentación (Bautista, et al. 2017).

A continuación, se enuncian los criterios a tener en cuenta para la construcción de una propuesta de unidad didáctica según Bautista, et al. (2017), que servirá como estrategia de enseñanza para la explicación de los procesos que sufre la neurona en relación con el potencial de membrana:

1. Temática.
2. Datos generales.

3. Título de la unidad didáctica.
4. Curso y características de los estudiantes.
5. Finalidades de aprendizaje.
6. Revisión de referentes didácticos.
7. Selección de contenidos.
8. Modelo didáctico.
9. Contenidos.
10. Diseño y desarrollo de actividades.
11. Presentación de material a los estudiantes.
12. Interdisciplinariedad.
13. Evaluación del aprendizaje de los estudiantes.

Cada uno de estos criterios son clave para poder edificar una unidad didáctica acorde a las necesidades de los estudiantes y/o la institución educativa a quien sea dirigida, esto teniendo en cuenta que la transposición didáctica que cada temática tenga debe ir en concordancia con los sujetos que se enfrentarán a dicha información, recordando que Clelland (1985) (como se citó en Pellón, 2009) “ *definió la transposición didáctica como el trabajo que transforma el objeto de saber en un objeto de enseñanza*” (p.744). De acuerdo con lo anterior, los criterios mencionados anteriormente permiten velar por una aprehensión clara de los conocimientos que se pretenden orientar, en pro de que los estudiantes y maestros puedan aprovechar al cien por ciento la estrategia de enseñanza planteada.

Capítulo 3

Propuesta de unidad didáctica

3.1. Marco metodológico

El presente estudio se propuso en el marco del paradigma interpretativo donde según Arnal (1996, sp.), se deben tener en cuenta las formas de interpretar el objeto disciplinar (en este caso el potencial de membrana) de los sujetos desde su realidad, para así poder llegar no a la explicación del objeto, sino a la comprensión de este. De igual manera, como menciona Santo (2010) este paradigma enfoca su atención a aquellos aspectos no observables, no medibles, ni susceptibles de cuantificación (creencias, intenciones, motivaciones, interpretaciones, significados para los actores sociales), es decir que interpreta y evalúa la realidad, no la mide.

Dentro del paradigma interpretativo, se planea implementar un enfoque investigativo de carácter cualitativo, que como menciona Galeano (2003, p. 24) es un enfoque que aborda la realidad desde el contacto con los actores y su contexto, que busca la comprensión de un objeto de su entorno de manera multimetódica, donde no hay una sola forma de efectuar acciones y donde se reconoce que no hay una lógica única, ni visiones predeterminadas que construyan una realidad en común. El desarrollar este enfoque implica que las nociones de explicar por explicar se dejen de lado, de modo que para poder enseñar se llegue en las realidades de los sujetos, y así realmente pueda llegarse a un aprendizaje significativo.

De acuerdo con lo anterior, se pretenderá recoger las narrativas, percepciones, actitudes y reflexiones de los diferentes estudiantes de la asignatura de neuropsicología a través de un cuestionario que funcionará como diagnóstico para tener fundamentos sobre los cuales encaminar la futura implementación de la propuesta de unidad didáctica. Es sumamente importante que los estudiantes con los cuales pueda llegarse a implementarse esta propuesta puedan hacer una intromisión de los conceptos o conocimientos propios adquiridos en el proceso de las sesiones, para determinar si alguna vez se da paso a la reflexión del funcionamiento neuronal (potencial de membrana) desde otro campo del conocimiento (física: potencial eléctrico) ajeno a los que ya manejan: fisiología y psicología.

La intención principal de este trabajo de grado fue construir una propuesta de unidad

didáctica que le permita a los estudiantes tener un acercamiento al fenómeno eléctrico del potencial de membrana a través de dos actividades experienciales: un circuito eléctrico simulado, y la electrólisis como un montaje específico para esta investigación alrededor de la explicación del gradiente de voltaje; que servirán de analogía y pretenden lograr una descripción por parte de los estudiantes, por tal motivo la línea de investigación está encaminada a lo cualitativo, claro está, el estudiante tendrá la oportunidad de observar mediciones y datos cuantitativos, pero el objetivo es que él logre utilizar estos datos como argumento para describir el proceso.

3.2. Técnicas e instrumentos

Se seleccionó el cuestionario como una herramienta que permite hacer un diagnóstico sobre los saberes previos respecto al potencial de membrana y el sistema nervioso a estudiantes de neuropsicología que servirá como insumo para la futura implementación de la unidad didáctica. El cuestionario es una herramienta que funciona para la recolección de datos de forma rápida; es importante saber que este cuestionario se estructura como herramienta que permita conocer los conocimientos y los saberes previos de los sujetos con los cuales se implemente la unidad didáctica. Para el encuestador no es importante la persona que contesta sino, en qué contexto o ambiente se encuentra el encuestado (Casas, Repullo y Donado, 2003). En este caso, el cuestionario se encuentra dirigido a estudiantes de neuropsicología, ya que es a esta población a la cual va dirigida la unidad didáctica.

El cuestionario tiene dos objetivos en concreto. El primero es reconocer el conocimiento respecto al potencial de membrana visto desde la interdisciplinariedad (potencial y fisiología) y el segundo es permitir al encuestador recaudar información relevante y pertinente para la orientación de las actividades de la unidad didáctica. Es importante que este cuestionario se resuelva a conciencia, y sin ningún tipo de ayuda bibliográfica, esto le permite al estudio tener mayor validez y fiabilidad que aporta a la pertinencia al momento de ser juzgada. Las preguntas están divididas en dos; preguntas de índole pedagógico, y preguntas de índole interdisciplinar (fisiología de la neurona, conceptos de física relacionados al potencial de membrana), se pueden identificar las preguntas de la entrevista

con su respectivo propósito y relevancia en el anexo 1.

3.3. Propuesta pedagógica

3.3.1. Unidad didáctica: *EXPERIMENTANDO EL POTENCIAL DE MEMBRANA*

La unidad didáctica propuesta, está diseñada como un recurso digital accesible desde cualquier dispositivo (teléfono celular, Tablet, computador con el siguiente link: <https://fukurodani221.wixsite.com/potencial-de-membran>) con conexión a internet, y está dirigido (como se mencionó en un inicio) a estudiantes de neuropsicología, y en general a cualquier persona interesada en aprender sobre el potencial de membrana, o enseñar sobre este. Es importante recordar que la propuesta se estructura de manera virtual, pero no es un ambiente virtual de aprendizaje, por lo cual los estudiantes siempre se encontrarán acompañados y supervisados por el docente de la asignatura.

“*Experimentando el potencial de membrana*” presenta en primer lugar, una pequeña introducción de bienvenida al lector, ya sea estudiante o maestro, en donde se especifican los objetivos de la unidad didáctica, cual es el tema principal a tratar (en este caso el potencial de membrana de las células neuronales), y la pertinencia e importancia de aprender sobre esta temática desde la interdisciplinariedad, reconociendo temáticas como gradiente de voltaje, gradiente de concentración, relación de la ley de Ohm con el potencial de membrana y el circuito equivalente, las cuales propenderán a un cambio conceptual en las ideas de los estudiantes cuando se realicen las actividades propuestas a lo largo de la unidad didáctica, de modo tal que no solo se abordarán elementos netamente fisiológicos, sino que estos se conjugarán con la física para poder acercar el conocimiento microscópico de uno de los procesos más importantes de la célula a la realidad de los educandos.

Luego de esta introducción, se encuentra un apartado específico para los docentes del área de neuropsicología que deseen implementar esta propuesta dentro de su plan de clases, en el que se presentan los modelos pedagógico (conceptual) y didáctico (cambio conceptual) en los que se encuentra enmarcada la unidad didáctica, de modo tal que el maestro que decida utilizar la UD como recurso en su ejercicio docente, tenga presente cuáles son los lineamientos que rigen las actividades que permitirán aproximarse al conocimiento del potencial de membrana celular, y entienda cómo puede acoplar dichos momentos a sus sesiones de clase, esto de acuerdo con la pedagogía praxeológica que se

maneja en la institución, pues al buscar un proceso de pensamiento crítico y ejercicios reflexivos sobre la práctica (UNIMINUTO, 2021), se propende al cambio en presaberes y conceptos característicos del modelo elegido para la construcción de la unidad didáctica.

Por otra parte, y teniendo en cuenta el carácter pedagógico que permea a la unidad didáctica, está también cuenta con un cuestionario (anexo 1) que permitirá identificar las nociones previas sobre fisiología y física, un aspecto realmente importante que posibilita el reconocimiento del estudiante como un sujeto con saberes valiosos, pero que pueden ser modificados desde el acercamiento a otras formas de conocimiento que propenderá a un cambio en sus sistemas cognitivos. Con los resultados de dicho cuestionario, el maestro podrá saber cómo orientar los contenidos y actividades presentes en la unidad didáctica, encaminándolos de forma que pueda aprovecharse lo que el estudiante ya sabe, para profundizar en lo que desconoce respecto a las implicaciones de la física en el proceso de potencial de membrana celular. Cabe recalcar que este cuestionario (ver anexo 1) es un insumo a utilizar previo a la implementación de la unidad didáctica por parte del docente a cargo, para evaluar cual será el punto de partida conceptual que tendrá el ejercicio de enseñanza frente al potencial de membrana de la neurona.

Luego de este cuestionario investigativo, se encuentran las experiencias que estructuran las actividades de la unidad didáctica. Los siguientes momentos tienen como fin aproximar cualitativa y cuantitativamente al estudiante a algunos procesos que vive la neurona como lo son: el gradiente de concentración y de voltaje, y el potencial de membrana o de reposo. La sustentación de estos tendrá un tinte teórico y experimental, logrando darles una relevancia especial a las actividades prácticas y generando un aprendizaje significativo respecto a la célula nerviosa y su funcionamiento desde un aspecto físico, que posteriormente podrán relacionar con diferentes patologías y repercusiones en el sistema nervioso de forma autónoma teniendo en cuenta lo aprendido. Las experiencias a tener en cuenta para la construcción de la unidad didáctica como propuesta pedagógica son:

- La electrólisis: Con esta experiencia se busca entender, a partir de la electrólisis del agua, los conceptos de gradiente de voltaje y de concentración de los iones electrolíticos (sodio, potasio y cloro) inmersos en los espacios extra e intracelulares de la neurona; esto a partir de un montaje casero (desarrollado en la unidad

didáctica) que represente a gran escala lo que sucede en la membrana celular haciendo uso de materiales caseros.

- Circuito equivalente (simulación): Al llevar a cabo esta experiencia se busca, en primer lugar, identificar los conocimientos previos de los estudiantes respecto a circuitos por medio de la construcción de lo representado en la *figura 11* de manera empírica y sin instrucciones, para que en segundo lugar, puedan contrastar lo propuesto con el desarrollo del circuito equivalente siguiendo un paso a paso (desarrollado en la unidad didáctica) estipulado en la UD que conlleve a dar una descripción cualitativa de las partes de la neurona que generan el potencial de membrana sustentada desde la aplicación de lo referente a variaciones de conductancia en función de la temperatura, y que a su vez permitan al estudiante generar diferentes conclusiones respecto al impacto de la alteración de la membrana neuronal a nivel cognitivo y psicológico en el ser humano.

Cabe destacar, que de cada una de las experiencias se dispone de un apartado (foro) dentro de la unidad didáctica, donde los estudiantes podrán dar respuesta a las preguntas realizadas en las actividades y presentar los resultados obtenidos de las experiencias realizadas.



Figura 14. Farfán, F. (2023), *Unidad Didáctica: Experimentando el potencial de membrana.*

WixSite. Colombia.

Fuente: <https://fukurodani221.wixsite.com/potencial-de-membran>

La unidad didáctica (enlace de acceso a la unidad didáctica: <https://fukurodani221.wixsite.com/potencial-de-membran>), como se mencionó anteriormente, está compuesta de dos momentos específicos que permiten abordar el ámbito

fisiológico a nivel físico con el acompañamiento del docente a cargo de la asignatura, y que compartan la misma estructura de presentación a los estudiantes de la siguiente forma:

Título: Presenta de forma llamativa el tema a tratar dentro del apartado, haciendo alusión al montaje experimental que será desarrollado.

Tiempo estimado: Estipula durante cuántas sesiones se llevará a cabo la explicación del contenido a abordar, y cuánto tiempo (en horas y minutos) se utilizará para trabajar con los estudiantes.

Objetivo: Especifica, tanto al maestro como al estudiante, cuál es el resultado esperado al finalizar la intervención pedagógica, atendiendo a los recursos que serán implementados, y el contenido temático que será abordado.



Figura 15. Farfán, F. (2023), La electrólisis del agua. Experimentando el potencial de membrana.

Título, objetivo y tiempo estimado.

Fuente: <https://fukurodani221.wixsite.com/potencial-de-membran/blank-2>

Pregunta orientadora: es lo que permite orientar toda la intervención de la sesión, a partir de aquí se empieza a desarrollar las temáticas y actividades en cada intervención.

Aproximación al conocimiento: Se realiza una contextualización teórica con el fin de aproximar al estudiante a un conocimiento base de la actividad propuesta de cada sesión

¡Experimentemos!: se incluyen materiales y procedimientos que el sujeto debe seguir, para la realización correcta de los montajes en cada sesión acompañado de su

docente.

EXPERIMENTANDO EL POTENCIAL DE MEMBRANA INICIO RUTA BLOG

¡EXPERIMENTEMOS!

Materiales:

- 800 ml de agua.
- 200 gr de cloruro de sodio (NaCl) o sal de cocina.
- Dos varillas metálicas ó cucharas.
- 50 cms Cable rojo (+) y 50 cms negro (-) para circuito.
- Dos pinzas tipo caimán.
- Fuente o pila de 9 voltios.
- Una refractaria.
- 2 placas de papel aluminio de 15x15 cms.
- 3 placas de acetato de 20x20 cms.
- 2 palos de balsa.
- Puntillas delgadas.
- Multímetro.

Figura 16. Farfán, F. (2023), *La electrólisis del agua. Experimentando el potencial de membrana. ¡Experimentemos!*.

Fuente: <https://fukurodani221.wixsite.com/potencial-de-membran/expe-electrolisis>

Actividad de cierre: Se proponen preguntas que pueda resolver el estudiante a través de un acercamiento experiencial de las actividades propuestas para la explicación del potencial eléctrico involucrado en el potencial de membrana en cada sesión.

Analicemos...

Gracias al gradiente de voltaje, al concepto de fuerza eléctrica y a la aproximación al conocimiento que se tuvo:

- ¿Qué iones son los que le corresponden a cada electrodo de las polaridades positiva y negativa? ¿Por qué?
- ¿Qué pasaría con los iones si se le cambia la polaridad?
- ¿Marca alguna medición de voltaje el condensador después de que se retira la fuente?
- Sí se marca un voltaje, ¿A qué se debe esto?
- ¿Qué explicación relacionaría esta experiencia con la teoría descrita sobre el gradiente de voltaje?

Responde aquí >

Figura 17. Farfán, F. (2023), *La electrólisis del agua. Experimentando el potencial de membrana.*

Analicemos... (actividad de cierre)

Fuente: <https://fukurodani221.wixsite.com/potencial-de-membran/expe-electrolisis>

Para finalizar, se tendrá un apartado de bibliografía en el que los estudiantes podrán

consultar los textos, artículos y documentos en general que fueron utilizados para la construcción de la unidad didáctica, junto con el enlace de acceso a cada uno.



Figura 18. Farfán, F. (2023), *Bibliografía Unidad Didáctica*.

Fuente: <https://fukurodani221.wixsite.com/potencial-de-membran/blank-4>

Capítulo 4 Validación de la propuesta de Unidad Didáctica

4.1 Análisis y consideraciones finales

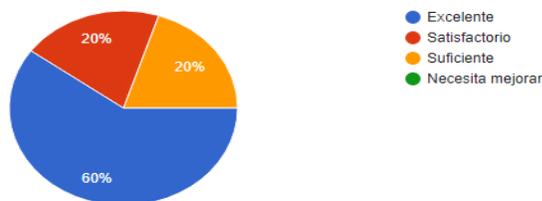
Teniendo en cuenta el proceso realizado, y que se trata la unidad didáctica como una propuesta de enseñanza, se llevó a cabo un proceso de validación de la estrategia con cinco personas; uno de ellos es docente de neuropsicología clínica en la Universidad de Boyacá y los otros cuatro restantes son psicólogos de profesión, que son sujetos que conocen la disciplina y a lo largo de su carrera conocieron la asignatura de Neuropsicología, por lo cual están en la capacidad de realizar recomendaciones y validar la propuesta.

Ahora bien, para poder realizar la validación anteriormente mencionada, se implementó un cuestionario en Google Forms (<https://forms.gle/8usiS25j5P1Kh3B2A>) que constó de dieciséis preguntas agrupadas de acuerdo con criterios generales de evaluación que se encuentran en el anexo 2, y el cual incluía la respectiva rúbrica de evaluación con la expiación correspondiente de cada categoría (ver anexo 3).

Para dar respuesta a cada una de las preguntas, se contó con una escala de clasificación con cuatro valoraciones posibles desde necesita mejorar a excelente, donde esta última era una valoración bastante positiva y la primera representaba un aspecto importante que debe mejorarse respecto a la unidad didáctica.

Frente al criterio de contenido, se tuvo una recepción bastante satisfactoria, pues en general, tres validadores encontraron fácil de comprender y adecuada la información que se brindó a lo largo de la unidad didáctica, esto teniendo en cuenta que uno de los encuestados manifestó que dicho contenido era suficiente pero no satisfactorio ni excelente, como se

¿Los conceptos físicos son fáciles de comprender?
5 respuestas



puede observar en la figura 17.

Figura 19. Farfán, F. (2023), gráfico estadístico del cuestionario de validación.

En concordancia con las respuestas brindadas frente a este criterio, es importante reconocer uno de los aportes brindados por uno de los psicólogos encuestados, la cual menciona que

El contenido es claro, pero debería serlo mucho más desde el inicio. Es decir, ampliar un poco las razones por las que yo como psicóloga debería conocer más a profundidad el tema de potencial de membrana. De qué forma me beneficia saber más del tema; pienso que solo es atraer al psicólogo o psiquiatra a indagar en el tema, que se le pueda hacer sentir la necesidad al profesional de conocer sobre ello, porque si no me planteas la necesidad de conocer sobre lo que propones, pasaré de largo por la información que intentas brindar (Palabras textuales de uno de los validadores, 2023).

Este comentario permite vislumbrar uno de los principales inconvenientes que se tiene al momento de enseñar, y es el propósito del ejercicio educativo, puesto que si bien es importante fomentar el aprendizaje de cada uno de los sujetos que se tengan a cargo, como bien menciona la encuestada, no va a poder llegarse al aprendizaje significativo que se desea como fruto de la práctica pedagógica que se lleva a cabo si no se especifica el objetivo o el porqué del objeto de conocimiento a estudiar.

Continuando, con respecto al criterio del uso del lenguaje, se obtuvo que, en general, el manejo de terminología técnica y algunos conceptos de alta complejidad fueron bien desarrollados, con un carácter pedagógico adecuado y de forma sencilla para el aprendizaje de temáticas que no son tan manejadas en la cotidianidad. Sin embargo, la mayoría de los encuestados concuerda en que es importante hacer revisión de tildes y signos de puntuación a lo largo de la estrategia didáctica.

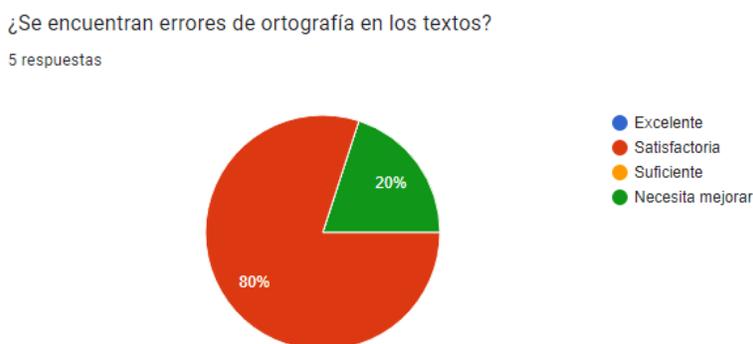


Figura 20. Farfán, F. (2023), gráfico estadístico del cuestionario de validación respecto al criterio 2.

Por último, respecto al criterio de diseño se encuentran algunas oportunidades de mejora, pues se menciona que es importante realizar algunas modificaciones respecto al manejo de los colores y el tipo de letra, esto en concordancia con la línea cromática de la página y en pro de que sea lo más cómoda posible para el lector. De igual forma, es importante revisar la ubicación y orden de las imágenes, esto teniendo en cuenta que dependiendo de la disposición de éstas va a ser más sencillo o complejo el entender la temática que se está complementando con dichas ilustraciones.

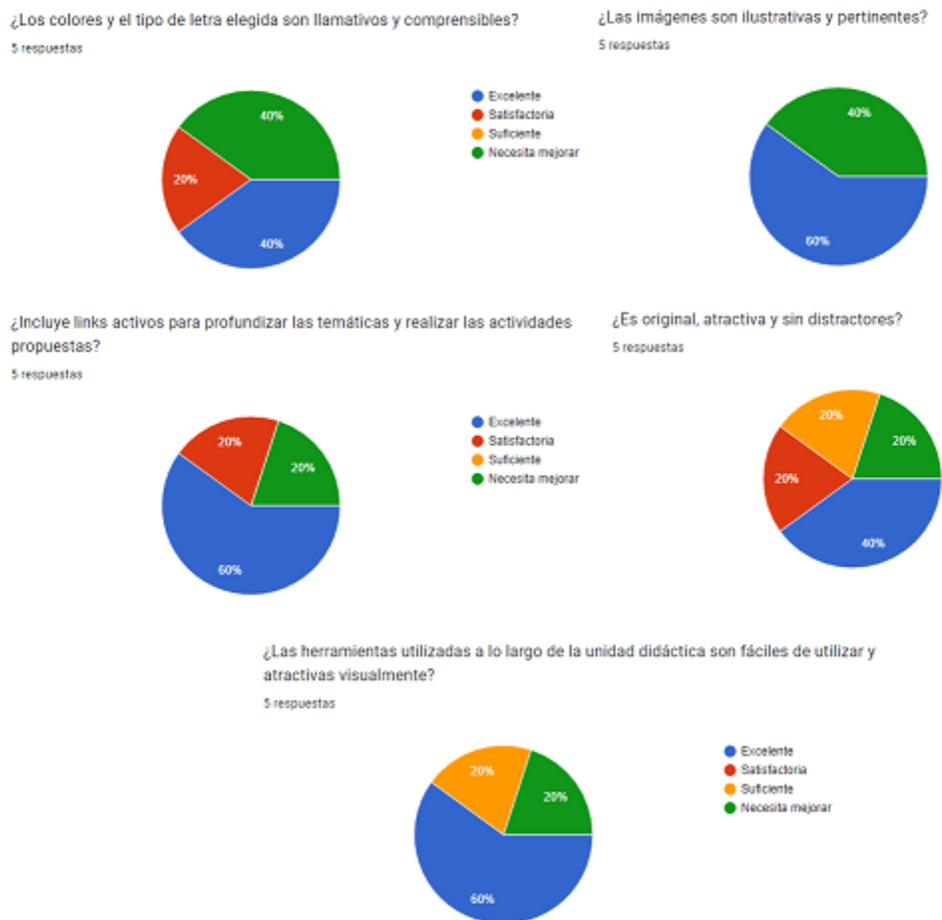


Figura 20. Farfán, F. (2023), gráficos estadísticos del cuestionario de validación respecto al criterio

3.

Es importante recordar que cada uno de los comentarios y sugerencias de los evaluadores son acogidas con gratitud y tomadas en cuenta para poder optimizar la unidad didáctica en un futuro próximo, brindando así la mejor versión posible de la propuesta y que así, realmente permita a los estudiantes afianzar y profundizar temáticas que en su trayecto formativo suelen ser revisadas superficialmente, de modo tal que puedan comprender a

cabalidad el funcionamiento del cuerpo humano no solo desde el ámbito netamente psicológico, sino también desde lo biofísico, que a fin de cuentas será un conocimiento realmente provechoso para el diagnóstico y entendimiento de algunas patologías que atañen al cerebro y el sistema nervioso.

Para finalizar, este ejercicio pedagógico dio como resultado principal una gran oportunidad para el maestro en formación: el generar estrategias de enseñanza y aprendizaje que no suelen ser planteadas en aula, adecuada de la forma más didáctica posible y encaminada a la alfabetización en cuanto a ramas pertenecientes a física como lo es el potencial eléctrico inmerso en el potencial de membrana, facilitando así la comprensión del mundo y, sobre todo, la comprensión de nosotros mismos.

4.2 Conclusiones y recomendaciones

Al finalizar este trabajo de grado se concluye que fue posible realizar el desarrollo de la propuesta didáctica para la enseñanza del potencial de membrana, teniendo a la pedagogía conceptual y la interdisciplinariedad como pilares educativos de la misma. Adicional a lo anterior, tener referentes teóricos fiables respecto a las características fisicoquímicas y fisiológicas de la neurona, permitió realizar un ejercicio de transposición didáctica del contenido que se presentará a los estudiantes, propendiendo al entendimiento de los temas a abordar de forma sencilla y concreta.

De igual forma, gracias al estudio de estas temáticas desde un punto de vista interdisciplinar, pudo hallarse que al aumentar la temperatura del entorno en que se encuentre una neurona, la velocidad de reacción y la permeabilidad son óptimas para el funcionamiento de esta, en caso contrario, es decir, si la temperatura disminuye considerablemente, el potencial de membrana en reposo (potencial eléctrico) disminuye, y por ende la velocidad de reacción y su permeabilidad disminuyen también, situación que puede llegar a ocasionar problemas de carácter psicopatológico.

Los ejercicios experimentales estructurados dentro de la unidad didáctica pueden llegar a convertirse en una de las formas más amigables de acercar el conocimiento a los estudiantes de una forma no convencional, puesto que en general la teoría no posibilita la comprensión de temáticas de manera tan tangible y cercana como lo permite la experimentación, esto teniendo en cuenta que el acercamiento a otros campos de

conocimiento desde la física conlleva al reconocimiento de la interdisciplinariedad como un aspecto clave en el desarrollo de habilidades de aprendizaje, facilitando la forma en que los procesos y contenidos pueden ser comprendidos.

Ahora bien, aunque la unidad didáctica no pudo ser implementada, la estrategia de enseñanza y aprendizaje se propone como un recurso para la educación en física, enriqueciendo las herramientas que los estudiantes pueden utilizar para complementar lo visto en sus instituciones educativas, y brindando a los docentes un medio para acercar a sus estudiantes al conocimiento eléctrico del potencial de membrana de la neurona de una forma didáctica y amena, esto debido a que las estrategias didácticas desarrolladas a partir de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se configuran como un elemento clave en la enseñanza de las ciencias, puesto que en la actualidad es una forma más cercana para los estudiantes de aproximarse al conocimiento y de ver espacios a los que pueden acceder desde sus dispositivos móviles como oportunidades de aprendizaje, haciendo más atractivo, colectivo y significativo el proceso de este.

Por último, se concluye que el desarrollo de esta propuesta contribuyó a la construcción de habilidades pedagógicas y disciplinares de vital importancia para el maestro en formación, tanto personal como profesionalmente.

Por otro lado, luego de finalizar este trabajo de grado, se recomienda que, respecto a la unidad didáctica, se pueda posibilitar la opción de que el estudiante pueda abrir un usuario dentro de la web, esto permite apropiarse más del espacio virtual. No solo que aparezca en el espacio de "blog" sino desde que se ingresa al enlace, de modo que el estudiante pueda tener un seguimiento sistematizado y secuencial de su proceso de aprendizaje.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, M. (2019). *Capítulo 5 potencial de membrana y potencial de acción*. Imagen. resumen cap 4 y 5 – michelle alfaro (home.blog)
- B.log.ia 2.0. (2016). *Sistema nervioso II: señales eléctricas y químicas en las neuronas*. ilustración 2. B.log.ia 2.0: junio 2016 (b-log-ia20.blogspot.com)
- Carvajal, Y. (2010). *interdisciplinariedad: Desafío para la educación superior y la investigación*. Redalyc. <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321727233012.pdf>
- Casas, J, Repullo, J.R. y Donado, J. (2003). *Las encuestas como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I)*. <https://core.ac.uk/download/pdf/82245762.pdf>
- Colmenares E., Ana Mercedes; Piñero M., Ma. Lourdes (2008), *la investigación acción. Una herramienta metodológica heurística para la comprensión y transformación de realidades y prácticas socioeducativas*. Redalyc. <https://www.redalyc.org/pdf/761/76111892006.pdf>
- Contreras, F y Gasca, L (2016). *Las emociones del espectador en una experiencia fotográfica, pictórica y cinematográfica*. Revistas UPTC. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/praxis_saber/article/view/5222/4578
- De Micheli, A. (2011). *En entorno a los primeros estudios de electrofisiología*. scielo-scientific electronic library online. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-99402011000400011&lang=es
- Facultad de medicina, UNAM (2019). *Unidad temática 1 biofísica de la membrana celular. Potencial de membrana, departamento de fisiología, facultad de medicina*. Universidad Autónoma de México (UNAM). <http://fisiologia.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2019/08/UTI-pr%C3%A1ctica4-potencial-de-membrana.pdf>
- García, A, Figueredo, S, Manchola, J y Parra, G, (s.f.). *El desarrollo del pensamiento científico en jóvenes que inician la universidad bajo la condición del mecanismo de excepción: cinco alternativas para lograrlo*. Universidad de la Sabana, Colombia. <https://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/4268/131158.pdf;jsessionid=6B3596CFA3B68689CA950E871BCD23FE?sequence=1>

- Giron, L et al (2015). *Laboratorio número 4 de física*, Calameo.
<https://es.calameo.com/read/004073250f7de2786c777>
- Halo (2012). *Simulación y medidas II, Circuito RL y RC*. Imagen. Simulación y Medidas II: Circuitos RL y RC (simulacionymedidashalo.blogspot.com)
- Hernández, E, & Hernández, L. (2011). *Relación entre conductancias de sodio y potasio al estilo Hodgkin y Huxley y su efecto en la propagación de potenciales de acción a 40°C*. Revista Salud Uninorte. 27(2). 223-235. (Retrieved July 27, 2022).SciELO.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-55522011000200007&lng=en&tlng=es.
- Kandel. E, Schwartz. J, Jessell. T (2000), *Neurociencia y conducta: comunicación intraneuronal*. Anep.
<https://www.anep.edu.uy/ipafisica/document/material/primero/2008/espacio/kandel.pdf>
- Khan Academy (s.f), *Anatomía de una neurona*. Ilustración en:
<https://es.khanacademy.org/science/biology/human-biology/neuron-nervous-system/a/overview-of-neuron-structure-and-function>
- Kolb, B. y Whishaw, I. (2006). *Neuropsicología humana (Cwi, S, Ed. y trad.)*. Editorial medica Panamericana, 5ª edición.
- Larios, B. & Rodríguez, E. (2018). *El aprendizaje significativo: Ausubel*. Bogotá. Colombia. Tomado del libro teorías del aprendizaje. pp 119-121
<https://www.magisterio.com.co/articulo/el-aprendizaje-significativo-ausubel>.
- Lenoir, Y. (2013). *Interdisciplinarietà en educación: una síntesis de sus especificidades y actualización*. <http://conexiones.dgire.unam.mx/wp-content/uploads/2017/09/b-Interdisciplinarietà-en-educacio%CC%81n.-Especificaciones..pdf>
- Mejor con salud. (2020). *Potencial de acción*. Imagen. Mejor con salud.
<https://mejorconsalud.as.com/potencial-de-accion/>
- Pellón Arcaya, M. Mansilla Sepúlveda, J. & San Martín Cantero, D. (2009). *Desafíos para la Transposición Didáctica y Conocimiento Didáctico del Contenido en Docentes de Anatomía: Obstáculos y Proyecciones*. International Journal of Morphology. 27(3), 743-750. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022009000300018>

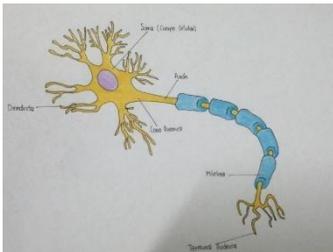
- Pineda, I. J. (2008). *Conceptos físicos en la interpretación del estudio cerebral*. Góndola. enseñanza y aprendizaje de las ciencias. 3(1). 40-43.
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/GDLA/article/view/5259/6895>
- Profesor en línea. (2015). *potencial bioeléctrico*. Ilustración 2.
<https://normasapa.com/como-referenciar-imagenes-figuras-segun-las-normas-apa/comment-page-25/>.
- Quinche, S. (2015). *Enseñanza de la transmisión del impulso nervioso desde el contexto de la física, la química y la biología, octavo grado* (trabajo de grado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá; Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56070/sandrajannethquinchebeltran.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Restrepo Arias, M. (2010). *finés y dimensiones de la educación*. Sophia. (6). 22-36. Redalyc. <https://www.redalyc.org/pdf/4137/413740747003.pdf>
- Rigalli, A. (2017). *Transporte a través de membrana biológicas*. Universidad Nacional de Rosario, Argentina. RepHUPUNR (2007-2019), Dspace. TRANSPORTE A TRAVES DE MEMBRANAS (unr.edu.ar)
- Rivera, A. (2016). *La experimentación como estrategia para la enseñanza aprendizaje del concepto de materia y sus estados*, facultad de ciencias exactas y naturales, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/59111/24687889.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, A et al. (2012). *Desarrollo del pensamiento científico en la escuela proyecto innovación en formación científica*. Jotamar Ltda, Bogotá; Colombia.
<http://www.idep.edu.co/sites/default/files/libros/Desarrollo%20del%20pensamiento%20cientifico%20en%20la%20Escuela.pdf>
- Romero, F. Mansilla, A. Rivera, A (s.f). *Neurofisiología para estudiantes de medicina*. Universidad Autónoma de México (UNAM).
<http://www.facmed.unam.mx/Libro-NeuroFisio/>
- Ruiz, J. (2007). *Modelos didácticos para la enseñanza de las Ciencias Naturales*. Revistasojs.
<https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/latinoamericana/article/view/5764>

- Segura, D. (2013). *El pensamiento científico y la formación temprana: una aproximación a las practicas escolares en los primeros años vistas desde la ciencia y la tecnología*. Revistas infancias. Imágenes. file:///C:/Users/asus/Downloads/Dialnet-ElPensamientoCientificoYLaFormacionTemprana-4817226.pdf
- Sierra, A. (2005). *Triángulo humano. Gestión de aula. experiencias del proyecto de mejoramiento*. Fundación Promigas. Colombia. Fuente: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=573457>
- Torres, J. (1998). *Globalización e interdisciplinariedad: el curriculum integrado*. Terras. http://www.terras.edu.ar/biblioteca/1/CRRM_Torres_Unidad_2.pdf
- Tuvi digital. (2015). *Fisiología- potencial de difusión, potencial de membrana, potencial de nernst*. [video de YouTube] https://www.youtube.com/watch?v=jBISdTSQJ-0&ab_channel=TuviDigital
- UNIMINUTO. (2 de noviembre de 2021). *Modelo Educativo*. Corporación Universitaria Minuto de Dios. [https://www.uniminuto.edu/noticias/modelo-educativo#:~:text=La%20pedagogía%20praxeológica"%20quiere%20ser,de%20una%20real%20flexibilidad%20curricular](https://www.uniminuto.edu/noticias/modelo-educativo#:~:text=La%20pedagogía%20praxeológica).
- Zarco, L. (2017). *Bases neurofisiológicas de la conducción nerviosa y la contracción muscular y su impacto en la interpretación de la neurografía y la electromiografía*. Capítulo 1. Guía Neurológica 7. https://www.academia.edu/30919497/GU%C3%8DA_NEUROL%C3%93GICA_7_BASES_NEUROFISIOLOGICAS
- Zubiría, M. (1994). *Tratado de la Pedagogía Conceptual*. Fundación Alberto Merani Para El Desarrollo De La Inteligencia. .

Anexos

Anexo 1: Entrevista.

NÚMERO	PREGUNTA	JUSTIFICACIÓN
1	En su experiencia de aprendizaje, ¿ha tenido la oportunidad de evidenciar conceptos eléctricos o experimentos para la explicación del proceso de potencial de membrana en la neurona? Sí o no. ¿Por qué?	Es importante saber si dentro de otros espacios desarrollados en la carrera (así como en la asignatura de neuropsicología) se logró evidenciar el concepto de potencial de membrana, o si el estudiante pudo tener experiencias desde el campo físico (eléctrico) para su explicación y si ello se relaciona con la fisiología.
2	¿Cree usted que solo aquellos sujetos que tienen un lazo estrecho con las ciencias (física, biología, química, matemáticas) pueden desarrollar pensamiento científico? Sí o no ¿Por qué?	La construcción del pensamiento científico busca generar una mayor propiedad en las temáticas por parte del estudiante y una conciencia cognitiva para interpretar, analizar y argumentar distintos conceptos desde cualquier campo del conocimiento. La pertinencia de esta pregunta radica en reconocer si los estudiantes asumen que solo aquellos sujetos que tienen un lazo estrecho con las ciencias (física, biología, química, matemáticas) pueden construir ese pensamiento.
3	¿Qué opina sobre la inclusión de la interdisciplinariedad en explicaciones de temáticas o conceptos propios de los espacios académicos en los que se desenvuelve?	Es importante determinar si es pertinente para un estudiante incluir la interdisciplinariedad como herramienta para la construcción del conocimiento, y para el entendimiento de una temática o concepto en específico, pues de esto parte la pertinencia de la propia unidad didáctica.
4	¿Cuál de estas no pertenece a las partes de la neurona (célula del sistema nervioso)? -Cuerpo o soma -Dendritas	Esta pregunta es de carácter disciplinar, con la que se pretende identificar si los estudiantes apropian la fisiología neuronal como campo de

	<ul style="list-style-type: none"> -Cono axónico -Nódulos de Ranvier -Canales dendríticos y axónicos -Botones postsinápticos -Vaina de mielina 	<p>conocimiento específico e importante para el conocimiento del potencial de membrana. Además, es importante resaltar que los estudiantes asistieron a varias sesiones propias de la institución educativa en las que se trabajaron conceptos inmersos en la temática del sistema nervioso, por lo cual deberían estar en capacidad de reconocer las estructuras mencionadas.</p>
<p>5</p>	<p>A partir de la siguiente imagen de la neurona y sus partes (cuerpo o soma, cono axónico, axón, dendritas, mielina, terminal axónica), responda: ¿En qué sitio de esta se produce el paso constante de iones del espacio intracelular al extracelular y viceversa a través de los canales iónicos?</p>  <p>Anatomía de una neurona. Adaptada de Khan Academy. (s.f.) Se evidencia las partes básicas de la neurona desde las dendritas hasta la terminal axónica. Fuente: https://es.khanacademy.org/science/biology/human-biology/neuron-nervous-system/a/overview-of-neuron-structure-and-function</p>	<p>Es importante reconocer si los estudiantes identifican en qué parte en específico de la célula nerviosa se produce el proceso de potencial de membrana.</p>
<p>6</p>	<p>Se reconoce que uno de los procesos que se evidencia en la neurona es el potencial de membrana, este es un constante y equilibrado paso de iones a través de canales iónicos que funcionan de túnel para el ingreso o salida de estos al espacio intra y extracelular de la célula gracias al gradiente de concentración. A partir de lo anterior para usted ¿Qué es un ion? y escriba 3 de ellos.</p>	<p>Teniendo en cuenta que para generar una corriente debe haber un tránsito de cargas, es importante que desde la fisiología el estudiante reconozca cuales son los iones más importantes que hay en el espacio extra e intracelular que generan este voltaje.</p>

7	¿Ha escuchado alguna vez sobre la Ley de Ohm? Sí o no. De ser negativa su respuesta, escriba de que cree que trata esta ley.	Es relevante reconocer si los estudiantes conocen la fundamentación matemática para describir el proceso de potencial de membrana (de forma cuantitativa) que se lleva a cabo en las células nerviosas.
8	¿Qué entiende usted por potencial eléctrico?	Con esta pregunta se busca identificar las concepciones de los estudiantes respecto a uno de los conceptos claves en el entendimiento del potencial de membrana, de modo que le permita saber al maestro que tanto debe ahondar en las explicaciones de estos términos físicos.
9	Si usted tuviese que aprender de nuevo sobre el proceso de potencial de membrana ¿Le gustaría tener un acercamiento a ese proceso de forma experimental, teórica o los dos? ¿Por qué?	El reconocer de qué manera aprenden los estudiantes y más aún sobre una temática como el potencial de membrana, le permitirá al docente darle un sentido más amplio al proponer experiencias que pueda hacer análogas a la del fenómeno real.
10	¿Qué tan fundamental sería para usted realizar experiencias que lo acerquen al fenómeno de potencial de membrana? ¿Por qué?	La experimentación estimula las sensaciones y genera mayor motivación en los estudiantes que no tienen un acercamiento riguroso y disciplinar al potencial de membrana y el potencial eléctrico, por lo cual es relevante indagar si los estudiantes asumen la experimentación como una estrategia posibilitadora de un aprendizaje significativo.

Anexo 2: Cuestionario validadores

CRITERIO	PREGUNTAS
Contenido	1. ¿Toda la información se encuentra de manera clara y comprensiva?
	2. ¿Se tiene un hilo conductor que permite comprender la interdisciplinariedad de las

	temáticas?
	3. ¿Los conceptos físicos son fáciles de comprender?
	4. ¿Los montajes experimentales son claros y las instrucciones son fáciles de seguir?
	5. ¿Tiene alguna sugerencia con relación al criterio de contenido que quiera agregar?
Uso del lenguaje	1. ¿El lenguaje técnico se maneja de forma adecuada y es explicado de forma sencilla?
	2. ¿Se encuentran errores de ortografía en los textos?
	3. ¿Tiene alguna sugerencia con relación al criterio de uso del lenguaje que quiera agregar?
Diseño	1. ¿Los colores y el tipo de letra elegidos son llamativos y comprensibles?
	2. ¿Las imágenes son ilustrativas y pertinentes?
Diseño	3. ¿Incluye links activos para profundizar las temáticas y realizar las actividades propuestas?
	4. ¿Es original, atractiva y sin distractores?
	5. ¿Las herramientas utilizadas a lo largo de la unidad didáctica son sencillas de usar y atractivas visualmente?
	6. ¿Tiene alguna sugerencia con relación al criterio de diseño que quiera agregar?
¿Quisiera describir algún otro aspecto relevante de la unidad didáctica que no se haya planteado en esta rúbrica o que no se haya visto en la página web?	

Tabla 4. Preguntas del cuestionario de validación.

Anexo 3: Rúbrica de evaluación.

RÚBRICA DE EVALUACIÓN UNIDAD DIDÁCTICA

De acuerdo con lo observado, evalúe la unidad didáctica teniendo en cuenta las siguientes categorías y marcando con una X el criterio que le parezca más adecuada.

	EXCELENTE	SATISFACTORIO	SUFICIENTE	NECESITA MEJORAR
CONTENIDO	<ul style="list-style-type: none"> - Toda la información se encuentra de manera clara y comprensible. - Se tiene un hilo conductor que permite comprender la interdisciplinariedad de las temáticas. - Los conceptos físicos son fáciles de comprender. - Los montajes experimentales son claros y las instrucciones son fáciles de seguir. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gran parte de la información se encuentra de manera clara y comprensible. - Se tiene un hilo conductor que permite comprender la interdisciplinariedad en la mayoría de las temáticas. - La mayor parte de los conceptos físicos se comprenden con facilidad. - Los montajes experimentales son claros y las instrucciones no son complejas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Solo la información básica se encuentra de manera clara y comprensible. - El hilo conductor que permite comprender la interdisciplinariedad se pierde en algunas temáticas. - Algunos de los conceptos físicos se comprenden con facilidad. - Los montajes experimentales son claros aunque las instrucciones son complejas. 	<ul style="list-style-type: none"> - La información no se encuentra de manera clara y comprensible. - No hay hilo conductor que permita comprender la interdisciplinariedad de las temáticas. - La mayor parte de los conceptos físicos son muy difíciles de comprender. - Los montajes experimentales no son claros y las instrucciones son muy complejas.
USO DEL LENGUAJE	<ul style="list-style-type: none"> - El lenguaje técnico se maneja de forma adecuada y es explicada de forma sencilla. - No se encuentran errores de ortografía en los textos. 	<ul style="list-style-type: none"> - El lenguaje técnico se maneja de forma satisfactoria y es explicada de forma coherente. - Se encuentran pocos errores de ortografía en los textos. 	<ul style="list-style-type: none"> - El lenguaje técnico se maneja de forma compleja, pero es explicada de forma coherente. - Se encuentran varios errores de ortografía en los textos. 	<ul style="list-style-type: none"> - El lenguaje técnico se maneja de forma inadecuada y faltan explicaciones. - Se encuentran muchos errores de ortografía en los textos.
DISEÑO	<ul style="list-style-type: none"> - Los colores y el tipo de letra elegida son llamativos y comprensibles. - Las imágenes son ilustrativas y pertinentes. - Incluye links activos para profundizar las temáticas y realizar las actividades propuestas. - Es original, atractiva y sin distractores. - Las herramientas utilizadas a lo largo de la unidad didáctica son fáciles de utilizar y atractivas visualmente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los colores y el tipo de letra elegida son adecuados y comprensibles. - Las imágenes son ilustrativas y pertinentes. - Incluye algunos links activos para profundizar las temáticas y realizar las actividades propuestas. - Es atractiva y sin distractores. - Algunas herramientas utilizadas a lo largo de la unidad didáctica son fáciles de utilizar y atractivas visualmente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los colores y el tipo de letra elegida son aceptables. - Las imágenes son ilustrativas pero poco pertinentes. - Incluye links para profundizar las temáticas y realizar las actividades propuestas pero algunos no están activos. - Es poco atractiva pero no tiene distractores. - Las herramientas utilizadas a lo largo de la unidad didáctica son complejas al de utilizar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los colores y el tipo de letra elegida no son llamativos y algunas veces no son comprensibles. - Las imágenes no tienen pertinencia, y podrían haber más ilustraciones. - Hacen falta links para profundizar las temáticas y realizar las actividades propuestas. - No es original y se encuentran distractores. - Las herramientas utilizadas a lo largo de la unidad didáctica son muy complejas de utilizar y entender.