

La modelización de la respuesta nerviosa en una secuencia de enseñanza y aprendizaje universitario y su importancia en el desarrollo de procesos de indagación científica para la comprensión del sistema nervioso.

Jacqueline Viveros Lopomo

Universidad de la Frontera

jacqueline.viveros@ufrontera.cl

Resumen

Este estudio evaluó la implementación de una secuencia de enseñanza universitaria basada en la modelización de la respuesta nerviosa. Se establecieron cuatro niveles de progresión: conceptual, estructural, funcional y relacional. Estos niveles buscan permitir a los estudiantes comprender la evolución y complejidad de los sistemas nerviosos, y cómo los organismos interactúan de manera integrada con su entorno. La investigación se centró en fomentar la indagación científica como estrategia pedagógica para entender la respuesta nerviosa en estudiantes de Pedagogía en Ciencias con Mención en Biología. Se trabajó con seis estudiantes de didáctica de la biología. Los datos se recolectaron de las actividades enfocadas en la respuesta nerviosa y se analizaron considerando cada etapa del ciclo de enseñanza. Los resultados revelaron que la secuencia propuesta favorece la comprensión del sistema nervioso a través de la indagación. Las conclusiones mostraron mejoras en el aprendizaje de los estudiantes gracias a las actividades realizadas. Aunque se identificaron concepciones erróneas, los estudiantes superaron estas debilidades, alcanzando niveles conceptuales y estructurales. Además, hubo avances en los niveles funcional y relacional, impulsados por el trabajo colaborativo, lo que refuerza la resignificación de su conocimiento sobre la respuesta nerviosa.

Palabras clave: Modelización- Sistema Nervioso- Respuesta Nerviosa- Indagación Científica- Secuencia de Enseñanza y Aprendizaje.

Introducción

En los últimos años la enseñanza de las ciencias en nuestro país ha ido experimentando cambios de forma y de fondo, los cuales se han visto reflejados tanto en enseñanza básica como media (MINEDUC, 2016). En este sentido, las actuales reformas de la educación en ciencias tanto en el nivel de primaria como secundaria requieren de cambios importantes en la preparación de los profesores de ciencias y en la manera en la que enseñan en las comunidades escolares.

El MINEDUC (2019) consciente de los nuevos desafíos en el área de ciencias propone en sus nuevas Bases Curriculares, un Plan Común de Formación General para 3° y 4° medio, denominado Ciencias para la Ciudadanía, el cual se pone en marcha el 2020 y busca

promover en los estudiantes una comprensión integrada de fenómenos complejos y problemas que ocurren en nuestro quehacer cotidiano, para formar a un ciudadano alfabetizado científicamente, con capacidad de pensar de manera crítica, participar y tomar decisiones de manera informada, basándose en el uso de evidencia.

Si bien es cierto que la enseñanza de las ciencias debe abordarse en todos los niveles educativos y que según Gil y Vilches (2001), la educación secundaria es la etapa fundamental para plantear la alfabetización científica de los futuros ciudadanos y ciudadanas. Lamentablemente, y en general, la formación científica de los estudiantes en el sistema escolar chileno está distante de este desafío, por cuanto sus objetivos de aprendizaje se han centrado principalmente en el conocimiento y en menor medida en el desarrollo de habilidades y actitudes para el siglo XXI.

Lo anterior no escapa al ámbito universitario y se ve reflejado cuando los estudiantes llegan a las aulas universitarias con muchas carencias en el ámbito científico, lo cual compromete a los educadores responsables de la formación inicial de pedagogos en ciencias a realizar procesos de innovación curricular y definir un perfil del titulado que sea coherente con las demandas del medio externo y con las nuevas orientaciones emanadas del Mineduc.

En este sentido, uno de los sistemas complejos y que presenta dificultades a la hora de ser enseñado y aprendido por parte de los estudiantes, es precisamente el sistema nervioso. Por este motivo, la secuencia de enseñanza y aprendizaje que se propone se contextualiza en la asignatura de didáctica de la biología, debido a que, al abordar contenidos asociados a la noción científica de la respuesta nerviosa, los estudiantes presentaban diversas concepciones alternativas en cuanto a su conceptualización, estructura y función. Además, de visualizar que escasamente los estudiantes podían llegar a establecer relaciones o fundamentar una problemática asociada con el sistema nervioso.

Si bien es cierto que en la actualidad los estudiantes universitarios cuentan con abundante literatura especializada acerca del sistema nervioso y que en las asignaturas que cursan asociadas a respuesta nerviosa se declaran las competencias específicas y se definen resultados de aprendizaje, lamentablemente al llegar a las asignaturas de didáctica los estudiantes presentan concepciones alternativas que interfieren con su proceso de aprendizaje y que con el paso de los años no logran resignificar, presentando principalmente obstáculos a nivel conceptual, estructural, funcional y relacional del sistema nervioso.

Según Carrascosa (2005) es abundante la evidencia empírica que nos informa acerca de cuáles son aquellos errores conceptuales que afectan a determinados conceptos científicos fundamentales y las ideas alternativas que llevan a cometerlos, las cuales suponen un obstáculo importante para los estudiantes y el aprendizaje de los conocimientos científicos con ellas relacionados. Como afirma Quintanilla et al. (2006), las ideas alternativas, ideas previas o preconcepciones, acerca de diferentes conceptos científicos, parecen tener una gran influencia sobre el aprendizaje y que, están arraigadas ya que se han formado sin una reflexión previa, como un fenómeno obvio y de 'sentido común' (intuitivo o espontáneo) que

no es sometido a la crítica y llega a convertirse en un obstáculo epistemológico para resignificar la ciencia construida y enseñada. Estas concepciones son muy resistentes al cambio y no se modifican fácilmente, por cuanto, tienen implicancias en los procesos de formación inicial docente y en su futura acción profesional (Aramburu, 2004; Carrascosa, 2005; Driver, 1988; Furió, 1996).

Las secuencias de actividades de enseñanza aprendizaje o secuencias didácticas son una forma de encadenar y articular las actividades a lo largo de una unidad didáctica. Así es posible analizar las diferentes formas de intervención según las actividades que se realizan y, sobre todo, por el sentido que adquieren respecto a una secuencia orientada a la consecución de unos objetivos educativos (Couso, 2012; Izquierdo, 2007; Sanmartí, 2005; Zabala, 2000). Así mismo, Talanquer (2013) señala que las progresiones de aprendizaje son modelos educativos sobre cómo se espera que evolucionen las ideas y formas de pensar de los estudiantes sobre un concepto o tema determinado a medida que avanzan en sus estudios.

De acuerdo con el marco conceptual consultado y según lo planteado por Adúriz-Bravo e Izquierdo (2009), en los últimos años la actividad de modelización ha acaparado gran interés en la didáctica de las ciencias, empezando a considerarse como una competencia emergente de la educación científica, o al menos como una dimensión de la competencia científica. De ahí la importancia de incidir en el desarrollo de dicha capacidad a través de la formación científica.

La idea de modelización se emplea con distintos significados, debido a la diversidad terminológica para referirse a ella por distintos autores. Algunos de estos términos son: instrucción basada en modelos, enseñanza basada en modelos, aprendizaje basado en modelos, enseñanza basada en la elaboración de modelos, aprendizaje basado en modelización, o simplemente modelización (Aragón et al; 2018).

Según la literatura revisada, no existe una definición única de modelización, Chamizo (2010) señala que la palabra modelo es polisémica y se emplea con sentidos diversos, al respecto, Oliva (2019) identifica y analiza al menos cinco acepciones diferentes para el término modelización: 1) la modelización como progresión de modelos; 2) la modelización como práctica científica; 3) la modelización como competencia; 4) la modelización en su dimensión instrumental, y 5) la modelización como estrategia de enseñanza. A partir de estas acepciones para la modelización, el autor sugiere la necesidad de conectar las distintas perspectivas, con el objeto de unificar la terminología usada y desarrollar propuestas didácticas integradoras que sean de utilidad para la investigación y para las prácticas de aula en la enseñanza de las ciencias.

A partir de lo anterior, para la secuencia de enseñanza de aprendizaje y su noción científica de respuesta nerviosa, se opta por la modelización como progresión de modelos, Oliva (2019) la caracteriza como una oportunidad para encontrar un sentido global a los conocimientos que aprenden los estudiantes, que les permita avanzar progresivamente hacia una comprensión más ajustada de la realidad.

Los modelos son importantes para el logro de la comprensión conceptual en la ciencia, a un nivel que va más allá de la memorización de hechos. En este sentido, esto llevaría al estudiante a la percepción que aprender ciencia tiene sentido y que es una forma de conocimiento flexible que puede ser aplicado y transferible. El aprendizaje basado en modelos puede ser definido como un itinerario de progresión, es decir, que parte de modelos personales intuitivos de los estudiantes y evoluciona con la enseñanza en otros más complejos, lo cual es posible mediante enseñanza directa o con preguntas que los estudiantes puedan responder a partir de sus modelos mentales.

Desde la perspectiva de Oliva (2019), la idea de progresión en el conocimiento se relaciona con la posibilidad de establecer niveles sucesivos en el conocimiento de un dominio dado. Es decir, ayudar a los estudiantes a cubrir pequeñas etapas que les conduzcan a la adquisición de grandes ideas, teniendo en cuenta que algunas de ellas pueden plantear dificultades. Para la construcción del saber, debe existir una evolución significativa en el conocimiento, de modo que en cada tránsito haya una cierta variación de una fase a la siguiente o que cada paso conlleve una cierta continuidad para garantizar que no existan desniveles y que cada salto sea viable.

Para Adúriz-Bravo (2012) la idea de modelo podría definirse como la representación de un objeto, un fenómeno, o sistema con el propósito de describir, explicar o predecir su comportamiento de la parte del mundo real a la que intenta evocar. Por su parte, Justi y Gilbert (2002), refieren que la modelización puede entenderse como el proceso de aprendizaje que acompaña al trabajo con modelos, no solo a la hora de construirlos, sino también de aplicarlos, revisarlos, modificarlos o, llegado el caso, cambiarlos por otros distintos y situado siempre en un contexto de aprendizaje escolar.

Una propuesta de desarrollo curricular basada en la modelización, se sustenta básicamente en que se recuperan las aportaciones de la ciencia escolar y una de las actividades primordiales de los estudiantes es la construcción de modelos teóricos escolares, los cuales se entienden como tramas de ideas que permiten explicar teóricamente un fenómeno, estas explicaciones se ajustan altamente a las intervenciones experimentales, discursivas y representacionales de los alumnos sobre el mundo (Gómez, 2014).

La modelización para el estudio de los componentes del sistema nervioso a través del uso y elaboración de modelos, puede ser una excelente estrategia didáctica que favorezca una imagen gráfica acerca de lo aprendido, lo que permitiría relacionar más fácilmente los conceptos teóricos de la fisiología del sistema nervioso.

Una manera de diseñar unidades didácticas que potencien el desarrollo de las competencias básicas en el alumnado, especialmente la competencia científica, se basa en entender el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias como un proceso de modelización, donde

el alumnado irá construyendo sus propios modelos teóricos, cada vez más coherentes con los científicos, que le permitirán explicar los fenómenos que lo rodean (Marbà, 2014).

El MINEDUC (2016) define un modelo como una representación esquemática y simplificada de parte de la realidad, que puede ser un objeto, fenómeno o sistema. Recomienda al profesor que los estudiantes diseñen modelos o trabajen con modelos ya existentes, para explicar, predecir o sintetizar parte de la realidad que se está estudiando. En este contexto, los aspectos que se describen a continuación deben ser considerados por los profesores. Primero, en la actividad científica se pone a prueba los modelos que se elaboran en base a hipótesis para explicar algún suceso o fenómeno. Segundo, en la construcción de un modelo siempre hay algo de subjetividad que está asociada a sus elaboradores, por lo que es necesario validarlos o refutarlos con evidencias. Tercero, cuando hay evidencias que no son consistentes con un modelo, el modelo debe ser revisado y, eventualmente, corregido o rechazado.

La secuencia de enseñanza aprendizaje de la respuesta nerviosa que se propone, se sustenta en la indagación científica como un modelo pedagógico que desafía al profesor(a) en el aula a adquirir un rol de mediador y facilitador en la construcción de conocimiento científico. Los estudiantes, por medio de preguntas y problemas científicos se involucran en la búsqueda de respuestas, mediante el diseño y ejecución de investigaciones científicas que permitan contrastar ideas previas, hipótesis y predicciones con resultados.

La indagación científica, ofrece diversas oportunidades de aprendizaje para los estudiantes y estimula su participación, lo que asegura una mejor comprensión y apropiación de la respuesta nerviosa y sus conceptos asociados y aplicados al sistema nervioso. Además, facilita en los estudiantes la comprensión de sistemas nerviosos en los animales, los cuales se hicieron más complejos con el transcurso de su evolución.

La indagación científica es un concepto que fue presentado por primera vez en 1910 por John Dewey, en respuesta a que el aprendizaje de la ciencia tenía un énfasis en la acumulación de información en lugar del desarrollo de actitudes y habilidades necesarias para la ciencia. Al respecto, Barrow (2006), menciona que no existe una definición clara de lo que es indagación y tampoco se ha alcanzado un acuerdo sobre cómo definirla, algunas de las concepciones que se tienen sobre indagación son: fomentar el cuestionamiento, el desarrollo de estrategias de enseñanza para motivar el aprendizaje, manos a la obra-mentes trabajando y finalmente el fomentar las habilidades experimentales (Citado en Reyes-Cárdenas y Padilla, 2012, p.415).

El MINEDUC (2015) hace referencia a la indagación científica como un modelo pedagógico para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, la cual es una herramienta efectiva para el logro de la alfabetización científica por parte de los estudiantes. El proceso indagatorio propicia, el desarrollo de diversas habilidades de pensamiento científico, el trabajo colaborativo y la puesta en práctica de actitudes propias del quehacer científico, permitiéndoles participar activamente en la construcción de sus aprendizajes.

Según Harlen (2010), la indagación científica significa que los estudiantes desarrollen su comprensión a través de su propia investigación, reuniendo y usando datos para someter a prueba sus ideas y encontrar aquellas que mejor expliquen lo que se ha observado. La fuente de los datos puede ser la manipulación directa de materiales, la observación de fenómenos o el uso de fuentes secundarias incluyendo libros, internet y las personas. La interpretación de los datos les permite obtener evidencias para debatir con otros estudiantes y el profesor e investigar qué es lo que los expertos ya han concluido.

De acuerdo con lo planteado por ECBI-Chile (2015), el Ciclo de Enseñanza de las Ciencias basado en la indagación científica, es una estrategia pedagógica que se fundamenta en el constructivismo, ya que promueve uno de los objetivos más importantes de la enseñanza de las ciencias, la comprensión profunda del conocimiento.

Para Harlen (2010), el constructivismo se refiere a la revelación consciente de las ideas, habilidades y actitudes previas de los estudiantes en relación con un evento o fenómeno a ser estudiado y a hacer uso de esta información para ayudar a desarrollar el aprendizaje. Esto reconoce que los estudiantes son agentes en el desarrollo o cambio de sus ideas y en la práctica significa también la necesidad de ayudarlos a considerar ideas alternativas que pueden ser más útiles que las suyas para explicar el mundo a su alrededor. Una importante fuente de ideas alternativas es la discusión de las ideas de otros; en lugar a que los estudiantes desarrollen sus ideas individualmente (constructivismo individual) es más fructífero motivar la discusión y argumentación a través de la cual las ideas se desarrollan socialmente.

Por lo anterior, este estudio se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo cambian las concepciones alternativas sobre la noción científica de la respuesta nerviosa que poseen los estudiantes universitarios al implementar una secuencia de enseñanza y aprendizaje universitario basada en la modelización de la respuesta nerviosa y con foco en el desarrollo de procesos de indagación científica para la comprensión del sistema nervioso?

Marco de Referencia

Sistema Nervioso

En este estudio se abordará la enseñanza del sistema nervioso y en específico la noción científica de la respuesta nerviosa. El MINEDUC (2015) señala que el análisis de procesos fisiológicos del sistema nervioso es difícil de imaginar por parte de los estudiantes. En este sentido, se espera que relacionen las estructuras y procesos en estudio con fenómenos cotidianos, para que tomen consciencia de que existen respuestas nerviosas detrás de toda acción y reacción que manifiesta el organismo. Es así como para el estudio de los componentes del sistema nervioso, se recomienda el uso y elaboración de modelos, favoreciendo una imagen gráfica de lo aprendido, lo que permite relacionar más fácilmente los conceptos teóricos de la fisiología del sistema.

Ahora bien, la especialización que hace distinguir al sistema nervioso de otros sistemas de comunicación radica en la neurona, célula que convierte los estímulos apropiados en señales electroquímicas que se transmiten rápidamente a grandes distancias. Las neuronas transmiten

estas señales a otras neuronas mediante sinapsis, en donde se produce la liberación de moléculas especiales llamadas neurotransmisores. También, puede transmitir el impulso a células efectoras, como las fibras musculares o las glandulares. En el sistema nervioso, la rápida comunicación proporcionada por las neuronas y su organizada red de conexión, son claves para la integración y control de la vida tan activa que muestran todos los animales (Curtis y Barnes, 1999).

En el transcurso de su evolución, los sistemas nerviosos se hicieron más complejos (Curtis y Barnes, 1999; Oram, 2007 y Bustamante, 2017) desde la malla de células nerviosas de una medusa, hasta el sistema nervioso central y periférico de la especie humana. En organismos como la medusa, el sistema nervioso es muy sencillo, en la lombriz de tierra es uno de los más simples y es común a muchos animales; consiste en un ganglio cerebral, un cordón nervioso principal y pares de nervios laterales ramificados. En algunos casos, como en los insectos, el ganglio cerebral actúa como un cerebro primitivo, ya que controla y coordina varias funciones básicas. Ciertamente, todos los animales pluricelulares poseen alguna clase de sistema nervioso, la complejidad de su organización varía de forma considerable entre los diferentes tipos de organismos. En los animales simples, como los celentéreos, las células nerviosas forman una red capaz de mediar respuestas estereotipadas. En los animales más complejos, como crustáceos, insectos y arañas, el sistema nervioso es más complicado. Los cuerpos celulares de las neuronas están organizados en grupos llamados ganglios, que se interconectan entre sí formando las cadenas ganglionares. Estas cadenas están presentes en todos los vertebrados, en los que representan una parte importante del sistema nervioso relacionada en especial con la regulación de la actividad del corazón, las glándulas y los músculos involuntarios.

En los mamíferos el sistema nervioso posee una alta complejidad y especialización, la capacidad de poder responder ante estímulos del ambiente interno y externo es propia del sistema nervioso de los animales invertebrados y vertebrados, incluido el ser humano. Diversos procesos que se llevan a cabo a nivel celular determinan el funcionamiento global de un sistema, que mantiene la coordinación de muchas funciones del organismo. Existe relación entre la estructura y la función del sistema nervioso y sus células especializadas denominadas neuronas, participan en la conducción de las señales y estas se comunican mediante sustancias químicas.

Dentro de las características generales que tienen los sistemas nerviosos destaca que la neurona individual utiliza un lenguaje de potenciales de acción. De algún modo este lenguaje básico permite a los animales, incluso los más simples, desarrollar diversos comportamientos complejos. Una clave de la versatilidad del sistema nervioso radica en la presencia de redes complejas de neuronas. El procesamiento de la información de un sistema nervioso requiere poder realizar cuatro operaciones: determinar el tipo de estímulo, indicar la intensidad de un estímulo, integrar información de muchas fuentes e iniciar y dirigir la respuesta (Berne y Levy, 2001; Audesirk et al, 2003; Miller y Levine, 2004).

Para (Curtis, 2006; Guyton y Hall, 2016), el sistema nervioso carece de parangón en cuanto a la enorme complejidad de los procesos de pensamiento y acciones de control que es capaz de realizar. Cada minuto son literalmente millones los fragmentos de información que recibe, procedentes de los distintos nervios y órganos sensitivos y a continuación integra todo este cúmulo para generar las respuestas que vaya a emitir el organismo.

Respuesta nerviosa

El propósito de enseñar la respuesta nerviosa a los estudiantes es para que relacionen las estructuras del sistema nervioso, como el cerebro y los receptores sensitivos, con sus roles en la regulación, coordinación e integración de funciones sistémicas, como asimismo, que comprendan que la capacidad de informar de los órganos de los sentidos permite al cuerpo adaptarse a las variaciones del entorno, y reconozcan los mecanismos por los cuales los estímulos son procesados por el sistema nervioso. Además, que los estudiantes analicen los mecanismos básicos por los que estos receptores transforman los estímulos sensitivos en señales nerviosas que a continuación son enviadas y procesadas por el sistema nervioso central.

Desde la perspectiva de Oram (2007), para que en el organismo ocurra una respuesta nerviosa, deben cumplirse cuatro requisitos. Primero, existir un medio para detectar el estímulo. En la mayoría de los animales, a los estímulos los detectan receptores sensitivos que pueden ser células nerviosas individuales, por ejemplo, las que son sensibles al tacto en la piel o las que forman parte de un órgano de los sentidos, como el ojo o el oído. Dichas células transforman la información sensitiva en impulsos eléctricos. Segundo, debe haber una forma de transmitir los impulsos a otras partes del cuerpo por medio de una red de neuronas, células especializadas en la conducción de dichos impulsos. Tercero, los impulsos deben interpretarse y analizarse en un centro de coordinación, como el cerebro o la médula espinal de los vertebrados. Cuarto, un efector que suele ser un músculo o una glándula, debe llevar a cabo una respuesta adecuada.

La respuesta nerviosa se caracteriza por estar asociada a procesos fisiológicos del sistema nervioso que son complejos y difíciles de imaginar por parte de los estudiantes. En este contexto, para poder enseñar esta noción a los estudiantes universitarios, se podría relacionar las estructuras y procesos en estudio con fenómenos cotidianos, para que comprendan que existen respuestas nerviosas detrás de toda acción y reacción que manifiesta el organismo.

Por otra parte, la respuesta nerviosa puede ser profundizada en aspectos de autocuidado en relación con los órganos de los sentidos y el consumo de sustancias químicas que pueden afectar la percepción del entorno. En este ámbito, propicia la discusión y el debate en torno a los hábitos de consumo actuales asociados a estilos de vida de adultos y jóvenes, vinculando este tema con investigaciones acerca del uso y efectos de sustancias sobre el cuerpo humano y especificar los daños sobre el sistema nervioso. Es importante que el debate reflexivo lleve a los estudiantes a proponer medidas de cuidado para quienes los rodean y para su propio cuerpo.

Por medio de variadas actividades teóricas y prácticas puede ser enseñada la respuesta nerviosa y donde la indagación científica sea el modelo pedagógico para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. A través de la consecución de cada una de las etapas del ciclo de aprendizaje y mediante el desarrollo de diversas actividades asociadas a la progresión de la secuencia de enseñanza y aprendizaje, los estudiantes podrían organizar información acerca de la respuesta nerviosa, construir mapas conceptuales del sistema nervioso, elaborar tablas comparativas, desarrollar pensamiento crítico a través de problemáticas en las cuales utilicen la observación e inferencia, puedan comparar y contrastar información, aplicar conceptos, construir modelos teóricos explicativos acerca del funcionamiento del sistema nervioso, formular hipótesis, diseñar un experimento e interpretar datos en relación con las estructuras, las funciones y los procesos del sistema nervioso. La noción científica de la respuesta nerviosa será evaluada al inicio de la secuencia de enseñanza y aprendizaje a través de la identificación de las concepciones alternativas que poseen los estudiantes. Durante el proceso formativamente, con el propósito de obtener información acerca de los obstáculos que presentan los estudiantes durante su aprendizaje, fortalecer los conocimientos y dar cumplimiento a los niveles de progresión definidos según desempeños y objetivos de aprendizaje, para ello, se utilizará para evaluar las respuestas de los estudiantes rúbricas analíticas y holísticas. Por último, la evaluación de cierre puede consistir en la elaboración de mapas conceptuales, de un póster, de un informe de investigación, de un modelo explicativo, maqueta, entre otros.

Revisión del Currículo

En relación con este punto, para la enseñanza de la noción científica de respuesta nerviosa, se tuvo a la base los indicadores de los Estándares Orientadores para Carreras de Pedagogía en Educación Media Biología (MINEDUC, 2012), las Competencias de Titulación Pedagógicas y Disciplinarias por Ciclo Formativo definidas para la Carrera de Pedagogía en Ciencias con Mención en Biología y aquellos resultados de aprendizaje que tributan al logro de la noción definidos en las asignaturas del Plan de Estudio de la Carrera en la Universidad de La Frontera. (Ver anexo 1)

Revisión de los textos universitarios

Para la planificación de la secuencia de enseñanza y aprendizaje se seleccionaron tres textos universitarios que incluyen contenidos asociados con la respuesta nerviosa, información que se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Resumen e información de los Textos universitarios asociados a la noción científica de respuesta nerviosa (Elaboración propia)

ID	Nombre del libro	Autores	Año	Editorial	Capítulo y N° de Páginas	Enseñanza
Libro 1	Tratado de Fisiología Médica	Arthur Guyton y John Hall	2016	Elsevier	Capítulo 47: Receptores sensitivos, circuitos neuronales para el procesamiento de la información Páginas 595-619	Universitaria

Libro 2	Ganong Fisiología Médica	Kim Barrett Susan Barman Scott Boitano Heddwen Brooks	2013	McGraw- Hill Interamericana Editores	Capítulo 12: Control reflejo y voluntario de la postura y el movimiento. Páginas 227-236	Universitaria
Libro 3	Biología Sistemas Vivos	Raymond Oram	2007	McGraw- Hill Interamericana	Capítulo 25 Control Nervioso. Páginas 699-709	Universitaria

Para el análisis de los textos universitarios se consideró la propuesta de los autores Jiménez y Perales (2001) en cuanto a aspectos que permiten caracterizar e identificar la función de la secuencia didáctica en la que aparecen las ilustraciones en los libros de texto, lo cual se resume en la tabla 2. (Ver anexo 2)

Tabla2. Criterios de análisis y sus respectivas descripciones.

Criterio	Descripción	Libro	Libro	Libro
		1	2	3
Evocación	Se hace referencia a un hecho de la experiencia cotidiana o concepto que se supone conocido por el alumno.	3	0	2
Definición	Se establece el significado de un término nuevo en su contexto teórico.	11	7	10
Aplicación	Es un ejemplo que extiende o consolida una definición.	6	7	5
Descripción	Se refiere a hechos o sucesos no cotidianos que se suponen desconocidos por el lector y que permiten aportar un contexto necesario. También se incluyen en esta categoría conceptos necesarios para el discurso principal pero que no pertenecen al núcleo conceptual.	16	16	12
Interpretación	Son pasajes explicativos en los que se utilizan los conceptos teóricos para describir las relaciones entre acontecimientos experimentales.	8	3	1
Problematización	Se plantean interrogantes no retóricos que no pueden resolverse con los conceptos ya definidos. Su finalidad es incitar a los alumnos a poner a prueba sus ideas o estimular el interés por el tema presentando problemas que posteriormente justifican una interpretación o un nuevo enfoque.	1	2	7

2.4.1 Texto Universitario 1

En cuanto a la noción científica de la respuesta nerviosa y su organización en el texto universitario 1 Tratado de Fisiología Médica de los autores Guyton y Hall (2016), en el Capítulo 47 denominado: Receptores sensitivos, circuitos neuronales para el procesamiento de la información, páginas 595-619, el propósito del capítulo consiste en exponer los mecanismos básicos por los que los receptores sensitivos transforman los estímulos en señales nerviosas que son enviadas y procesadas por el sistema nervioso central. Ahora bien, es posible observar que escasamente está presente en el texto la evocación. Esto queda

reflejado en el texto cuando por ejemplo se señala “Si se estimula una fibra para el dolor, la persona percibe esta sensación sea cual sea el tipo de estímulo que la excite” (p.595). Por otro lado, se advierte que en la totalidad del capítulo del texto predominan las definiciones, en específico, de los tipos de receptores sensitivos y estímulos que detectan, estas definiciones son suficientes y generalmente se presentan acompañadas de descripciones que permiten a los estudiantes la comprensión del procesamiento de la información. Existen varios ejemplos asociados a la aplicación de conceptos, uno de ellos explica la función predictiva de los receptores de velocidad y señala “Los receptores existentes en los canales semicirculares del aparato vestibular del oído detectan la velocidad a la que empieza a girar la cabeza cuando se toma una curva (p.599). En cuanto a la interpretación de la respuesta nerviosa, el capítulo incorpora una serie de imágenes que permiten explicar por ejemplo “La relación entre la amplitud de un estímulo mecánico aplicado a un corpúsculo de Pacini”. (p.597) o “La adaptación de los diferentes tipos de receptores, que revela su rápida producción en algunos de ellos y su lentitud en otros” (p.598). Respecto de la problematización es insuficiente en el texto analizado, se expone mediante una figura sólo el fenómeno de sumación espacial, es decir, “el patrón de estimulación de las fibras para el dolor en un nervio procedente de una zona de piel que sufre un pinchazo de un clavo” (p.600).

La problematización que se presenta en el texto es escasa, por tanto, habría que complementar este aspecto con la incorporación de actividades para los estudiantes, como así mismo con algunas preguntas que pudiesen ser respondidas por ellos. Al respecto, la figura 1 resume las transiciones encontradas en el texto universitario.

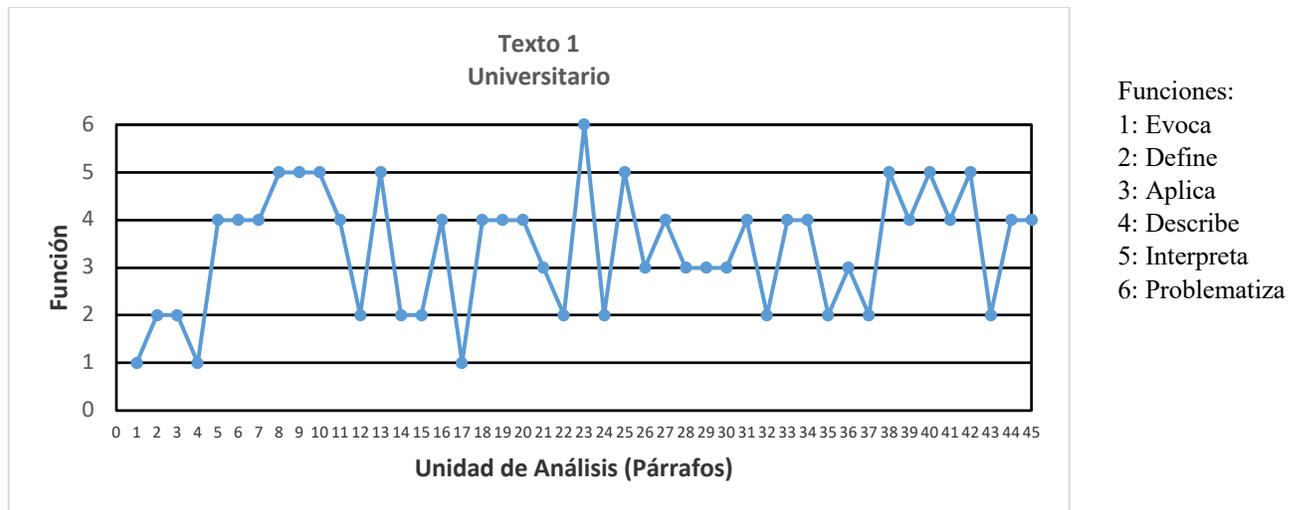


Figura 1. Secuencia didáctica del Texto Universitario 1

En cuanto al tipo de función con la que comienza, se desarrolla y termina la secuencia, el libro universitario tiene un patrón definido, por cuanto inicia escasamente con la evocación, continúa y termina con definiciones y descripciones acompañadas de elementos de aplicación, interpretación y problematización. El libro universitario se presenta de manera ordenada y coherente en cuanto a la conceptualización de la respuesta nerviosa, pero está

pensado para estudiantes que poseen altos niveles de abstracción y pueden avanzar progresivamente hasta alcanzar niveles cognitivos de orden superior.

Ahora bien, en cuanto a los niveles de progresión definidos para la secuencia de enseñanza aprendizaje de respuesta nerviosa, en un primer nivel definido como conceptual, este capítulo cubre las necesidades de los estudiantes, por cuanto considera inicialmente algunos aspectos de evocación y múltiples definiciones de conceptos. El nivel estructural está siendo abordado por medio de descripciones, lo funcional asociado a aplicación e interpretación es más escaso, por lo que habría que prestar atención a esta situación, mismo caso para el nivel relacional, debido a que escasamente se aborda en el texto la problematización.

Los fenómenos a los que recurre el texto universitario para explicar la noción de respuesta nerviosa se resumen a través de una red conceptual en la figura 2, el cual fue construido en función de los contenidos incluidos en el análisis de los párrafos del texto.

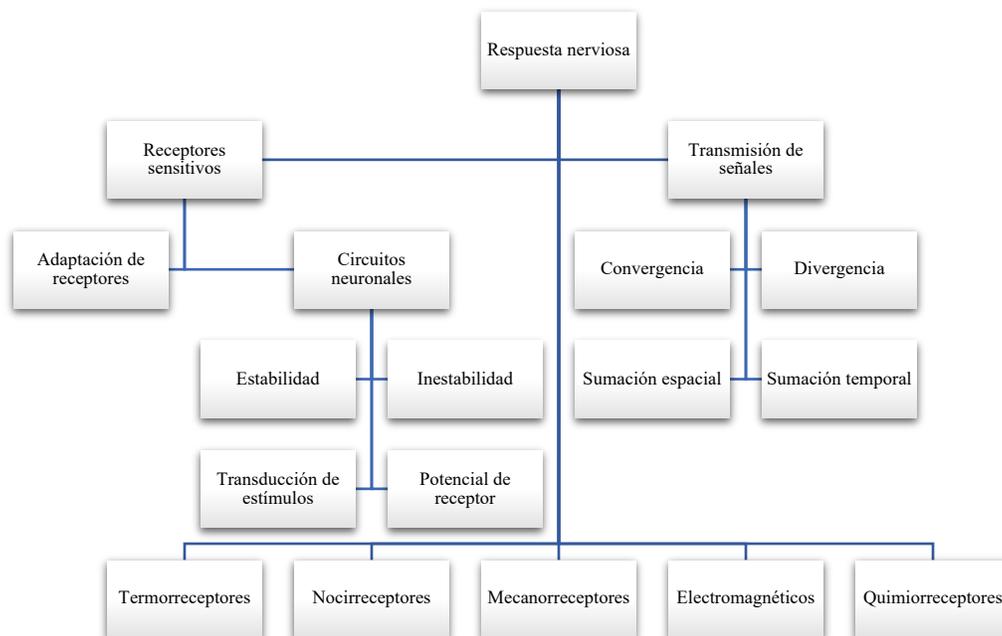


Figura 2. Descripción de los hechos/fenómenos a los que recurre el texto universitario para el estudio de la respuesta nerviosa. (Elaboración propia)

Texto Universitario 2

En cuanto a la noción científica de la respuesta nerviosa y su organización en el texto universitario 2 Ganong Fisiología Médica de los autores Barrett, Barman, Boitano y Brooks (2012), en el Capítulo 12 denominado: Control reflejo y voluntario de la postura y el movimiento, Pág. 227-236, el propósito del capítulo consiste en describir los elementos del reflejo miotático y de qué manera la actividad de las neuronas motoras, modifican la respuesta al estiramiento muscular, también, se abordan dos tipos de impulsos motores: reflejos (involuntarios) y voluntarios. Una subdivisión de la respuesta refleja comprende algunos movimientos rítmicos como son la deglución, la masticación, el rascado y la marcha,

que en gran parte son involuntarios, pero están sujetos al ajuste y control voluntarios. Ahora bien, es posible observar que no está presente la evocación. Sin embargo, se introduce el capítulo con una descripción acerca de la actividad motriz somática, la cual depende en última instancia del patrón y la frecuencia de descarga de las neuronas motoras raquídeas y las neuronas homólogas en los núcleos motores de los pares craneales. Por otra parte, se advierte que en el texto predominan las definiciones, tales como: receptor sensitivo, estímulo, neuronas motoras, arco reflejo, reflejos monosinápticos y polisinápticos, husos musculares, entre otros. Estas definiciones se presentan acompañadas de descripciones, pero no en todos los casos. Existen algunos ejemplos asociados a la aplicación de conceptos, por ejemplo, se muestra una imagen del arco reflejo, donde en el receptor y en el sistema nervioso central ocurre una respuesta gradual que no se propaga y que es proporcional a la magnitud del estímulo. La respuesta en la unión neuromuscular también es gradual, aunque en condiciones normales es tan considerable que produce una respuesta en el músculo estriado. En cuanto a las porciones del arco especializada para la transmisión, “fibras nerviosas aferentes y eferentes, membrana muscular, las respuestas son potenciales de acción que obedecen a la ley del todo o nada” (p.228).

En cuanto a la interpretación de la respuesta nerviosa, el capítulo incorpora algunos recuadros que permiten explicar por ejemplo la parálisis cerebral y sus avances terapéuticos en cuanto a tratamientos y fármacos. Respecto de la problematización es escasa en el texto analizado, sin embargo, se presenta de buena manera una situación problema asociada al reflejo rotuliano.

Al igual que en el texto 1 analizado, tanto la interpretación como la problematización son escasas, por tanto, habría que complementar este aspecto con la incorporación de actividades para los estudiantes, como así mismo con algunas preguntas que pudiesen ser respondidas por ellos. Al respecto, la figura 3 resume las transiciones encontradas en el texto universitario.

En cuanto al tipo de función con la que comienza, se desarrolla y termina la secuencia, es importante destacar que el texto universitario tiene un patrón definido, por cuanto inicia sin evocación, continúa con definiciones y abundantes descripciones de fenómenos y procesos asociados a respuesta nerviosa acompañadas de algunos elementos de aplicación, interpretación y problematización. El libro universitario se presenta ordenado y es coherente en cuanto a la conceptualización de la respuesta nerviosa, abundan sus descripciones, pero es escasa la interpretación y problematización, elemento a considerar, por cuanto, no todos los estudiantes poseen altos niveles de abstracción y esto puede significar que no avancen progresivamente hasta los niveles cognitivos de orden superior.

Ahora bien, en cuanto a los niveles de progresión definidos para la secuencia de enseñanza aprendizaje de respuesta nerviosa, en un primer nivel definido como conceptual, este capítulo cubre las necesidades de los estudiantes, sin embargo, no considera aspectos de evocación necesarios para hacer referencia a un hecho de la vida cotidiana. El nivel estructural se aborda por medio de imágenes las que se acompañan de descripciones. En cuanto a lo funcional asociado a la aplicación e interpretación se presenta menos nutrido, por lo que habría que

prestar atención a esta situación, mismo caso para el nivel relacional, debido a que escasamente se aborda en el texto la problematización.



Figura 3. Secuencia didáctica del Texto Universitario 2

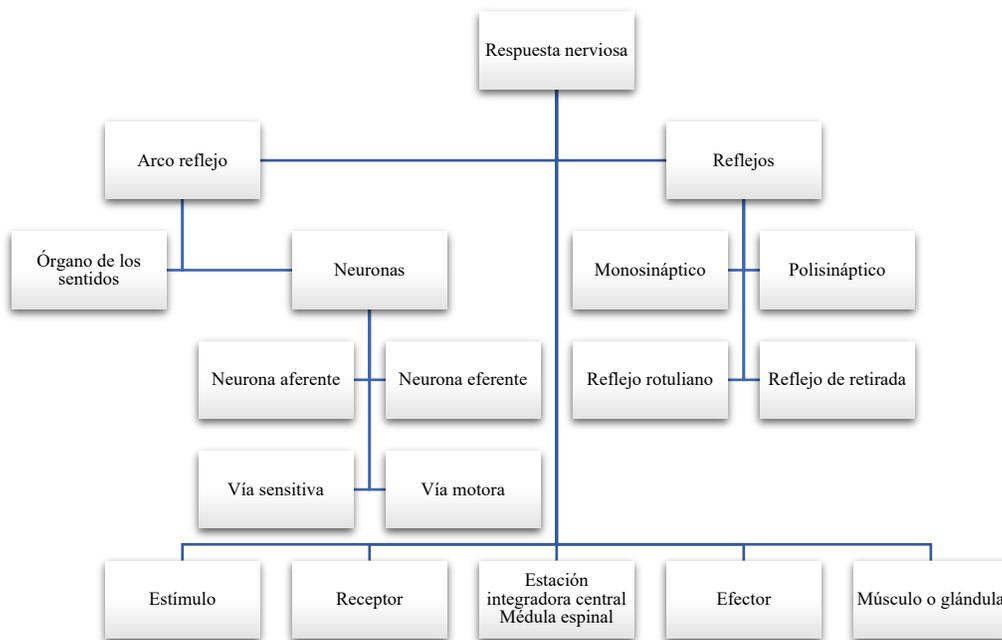


Figura 4. Descripción de los hechos/fenómenos a los que recurre el texto universitario para el estudio del concepto de respuesta nerviosa (Elaboración propia)

Los fenómenos a los que recurre el texto universitario para explicar la noción de respuesta nerviosa se resumen a través de una red conceptual en la figura 4. Si bien es cierto que el foco central del capítulo es el arco reflejo, no resta importancia a la respuesta nerviosa y se articula coherentemente con la noción científica objeto de este estudio.

Texto Universitario 3

En cuanto a la noción científica de la respuesta nerviosa y su organización en el texto universitario 3 *Biología Sistemas Vivos* del autor Oram (2007), en el Capítulo 25 *Control Nervioso*. Pág. 699-709, el propósito del capítulo consiste en comprender que el sistema nervioso recibe la información de los estímulos internos y externos y responde a ella. Aunque las bacterias, los protistas y algunas plantas son capaces de realizar una respuesta nerviosa, los animales son los únicos organismos que tienen un sistema nervioso verdadero. Ahora bien, es posible observar que escasamente está presente en el texto la evocación, es decir, cuando se hace referencia a hechos de la experiencia cotidiana o conceptos que se supone conocidos por el estudiante. Esto queda reflejado en el texto cuando se señala “Las glándulas suprarrenales son efectores que secretan adrenalina, como respuesta a un automóvil que se desplaza con rapidez, para aumentar la tasa metabólica y ayudar a que la persona reaccione más rápido ante una emergencia” (p. 700). Por otra parte, se advierte que en el texto predominan las definiciones asociadas a la respuesta nerviosa tales como: neuronas sensitivas, neuronas motoras, interneuronas, nervios, cubierta de mielina, respuesta de todo o nada por mencionar algunas. Estas definiciones se presentan acompañadas de descripciones y a diferencia de los textos anteriores, se ejemplifica y se asocian preguntas que permiten ayudar a la comprensión por parte de los estudiantes. A modo de ejemplo, se describe la respuesta de todo o nada y luego se realizan las siguientes preguntas “¿Qué es para ti un estímulo? ¿Y sabes si estás percibiendo luz, sonido o sensación táctil?” (p.706)

En el texto se incorporan algunos elementos asociados a aplicación de conceptos, a modo de ejemplo, se consigna el efecto de las drogas y fármacos en la sinapsis. Sin embargo, la interpretación es escasa, sólo aparece reflejada en una imagen donde se representa la combustión de un cohete que se asemeja a la manera en que un impulso viaja por el axón. Sin embargo, a diferencia del cohete, el impulso nervioso puede restaurarse (p.705).

Respecto de la problematización, se presenta más sustantiva que en los textos 1 y 2, se incorpora comprensión de conceptos asociada a problematización. A modo de ejemplo, se plantea la siguiente situación, un axón es expuesto a un voltio de electricidad, después a 3 voltios y luego a 5 voltios. El axón no transmite un impulso hasta que es estimulado a 5 voltios. ¿Por qué? ¿Cómo se verá afectado el axón si es estimulado a 10 voltios? Explica tu respuesta (p.709). Al igual que en el texto 2 analizado, la interpretación es escasa, este aspecto tendría que ser complementado con actividades que permitan a los estudiantes utilizar conceptos teóricos para describir las relaciones entre acontecimientos experimentales, la figura 5 se resume las transiciones encontradas en el texto universitario.

Con respecto al tipo de función con la que comienza, se desarrolla y termina la secuencia, es importante destacar que el texto universitario tiene un patrón definido que es diferente al texto 1 y 2, por cuanto inicia con problematización, continúa con definiciones y abundantes descripciones de fenómenos y procesos asociados a respuesta nerviosa acompañadas de algunos elementos de aplicación. El libro universitario se presenta ordenado y es coherente en cuanto a la conceptualización de la respuesta nerviosa, abundan sus descripciones, pero es escasa la evocación e interpretación, elemento a considerar, por cuanto, no todos los estudiantes poseen altos niveles de abstracción y esto puede significar que no avancen progresivamente hasta los niveles cognitivos de orden superior.

Ahora bien, en un primer nivel definido como conceptual, este capítulo cubre las necesidades de los estudiantes, sin embargo, no considera aspectos de evocación necesarios para hacer referencia a un hecho de la vida cotidiana, lo estructural se aborda por medio de imágenes las que se acompañan de descripciones. En cuanto a lo funcional asociado a la aplicación e interpretación se presenta menos nutrido, por lo que habría que prestar atención a esta situación, por último, el nivel relacional se aborda en el texto, favorece como se presenta la problematización debido a que se incorporan diversas preguntas que ayudan a la comprensión de los procesos de la respuesta nerviosa.

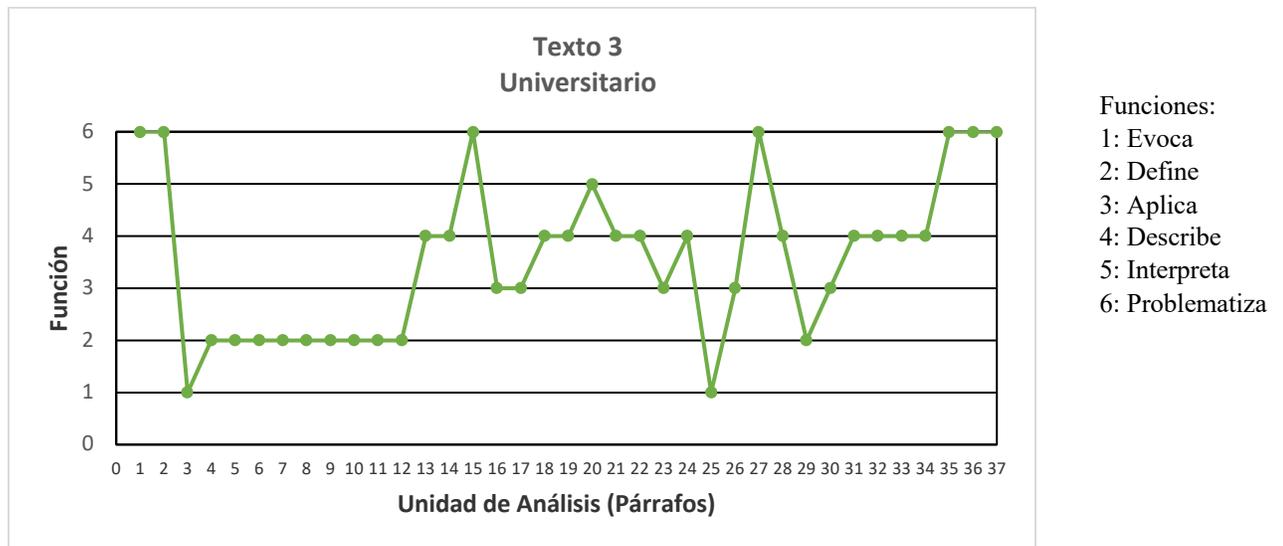


Figura 5. Secuencia didáctica del Texto Universitario 3

Los fenómenos a los que recurre el texto universitario para explicar la noción de respuesta nerviosa se resumen a través de una red conceptual en la figura 6.

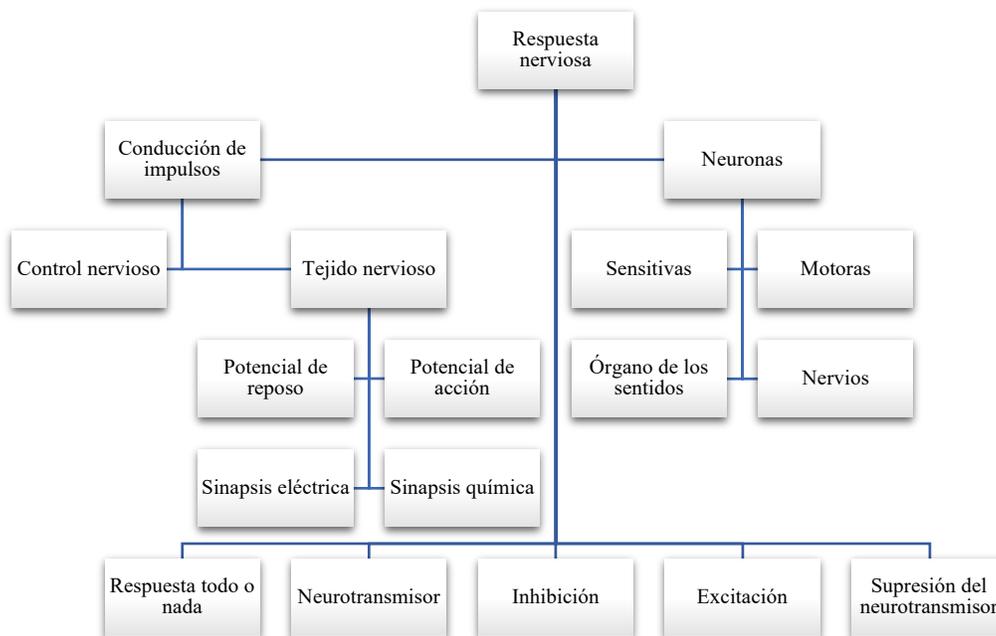
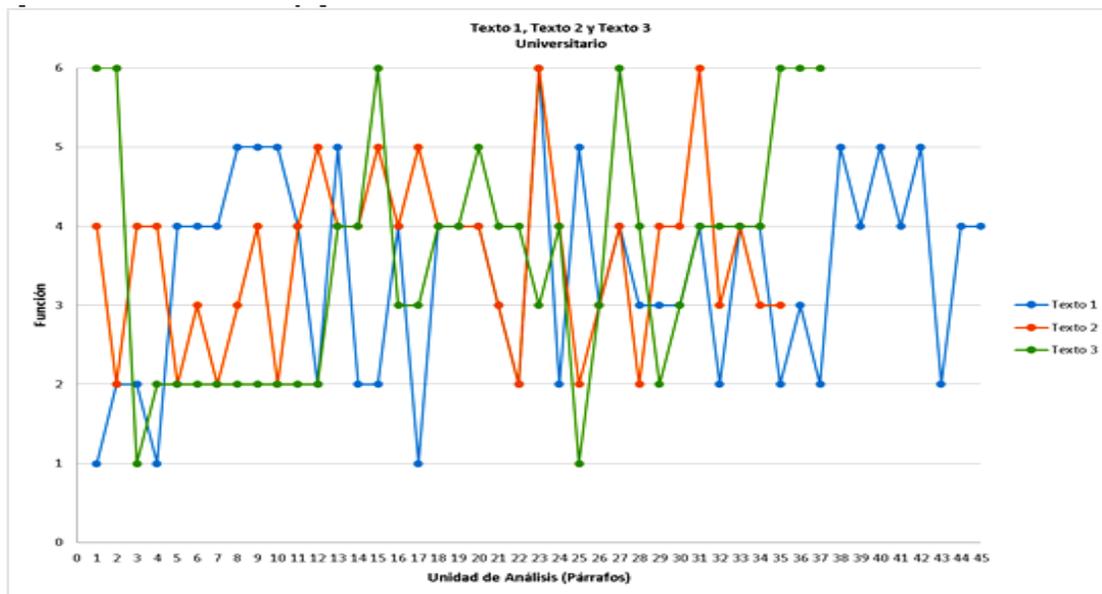


Figura 6. Descripción de los hechos/fenómenos a los que recurre el libro escolar para el estudio del concepto de respuesta nerviosa (Elaboración propia)

A modo de resumen, la figura 7 muestra las transiciones de los tres textos universitarios, donde es posible observar que mayoritariamente predominan las definiciones acompañadas de descripciones y en menor medida interpretación, aplicación, evocación y problematización.



Funciones:
 1: Evoca
 2: Define
 3: Aplica
 4: Describe
 5: Interpreta
 6: Problematisa

Figura 7. Transiciones de los textos universitarios 1, 2 y 3.

Revisión de las Concepciones Alternativas

La tabla 3 resume los principales estudios consultados para el levantamiento de información acerca de las concepciones alternativas sobre la respuesta nerviosa.

Tabla 3. Estudios donde se extraen concepciones alternativas sobre respuesta nerviosa

Estudio sobre	Autores y año
El origen de los conocimientos previos en biología: elementos comunes entre el alumnado y los libros de texto.	González-García, F., & Tamayo-Hurtado, M. (2000)
Students' illustrations of the human nervous system as a formative assessment tool.	Ranaweera, S. & Montplaisir, L. (2010)
Diseño Instruccional con enfoque Ciencia Tecnología y Sociedad (CTS) para la enseñanza del contenido del Sistema Nervioso.	Alvarado, G., Rivas, S., & Ochoa de Toledo, M. (2012)
Contribuciones de los trabajos prácticos en la construcción del concepto sistema nervioso.	Martínez, M., Rangel, M., & Cepeda, W. (2015)
Análisis de las concepciones sobre el concepto de sistema nervioso en estudiantes de grado noveno (901) del Colegio Antonio Nariño.	Olave, Y., & Martín, G. (2015)
Drawing on student knowledge of neuroanatomy and neurophysiology.	Slominski, T., Momsen, J., & Montplaisir, L. (2017)
Análisis de las ideas previas acerca del sistema nervioso en estudiantes de grado octavo.	Orozco, C., & Urrea, A. (2017)
Implementación de estrategias TIC para la enseñanza del sistema nervioso con estudiantes del grado octavo de la Institución Técnico Comercial La Dorada del Municipio de San Miguel del Departamento de Putamayo.	Garcés, G. (2018)

En la tabla 4, se resumen las concepciones alternativas relacionadas con la respuesta nerviosa, las cuales fueron categorizadas según los niveles de progresión conceptual, estructural, funcional y relacional definidos para la secuencia de enseñanza y aprendizaje.

Tabla 4. Concepciones alternativas y su clasificación según niveles de progresión definidos.

Nivel de Progresión	Concepciones Alternativas
Nivel 1 Conceptual	Confusión entre el concepto de receptor y órgano de los sentidos. (González-García y Tamayo-Hurtado, 2000)
	Las neuronas se encuentran ubicadas sólo en el cerebro. (Garcés, 2018)
	El cerebro es un organismo. (Alvarado, Rivas y Ochoa, 2012)
	Los estudiantes no dan una definición de cerebro, sino que más bien se refieren a su funcionalidad. (Alvarado, Rivas y Ochoa, 2012)
	Los estudiantes incluyen el corazón como un componente principal del sistema nervioso periférico. (Ranaweera y Montplaisir, 2010)
	El sistema nervioso está compuesto por todos los estímulos. (Olave y Martín, 2015)
	El Sistema nervioso periférico son los movimientos que hacemos intencionalmente como el hipo y el latido del corazón. (Olave y Martín, 2015)
	El Sistema nervioso autónomo es lo que podemos controlar como el estornudo, el parpadeo. (Olave y Martín, 2015)
	El sistema nervioso se distribuye por las venas y las arterias. (Garcés, 2018)
	Las enfermedades nerviosas son producto de un castigo divino. (Garcés, 2018)

Nivel 2 Estructural	<p>Confusiones estructurales en cuanto a las partes del encéfalo humano. (Martínez, Rangel y Cepeda, 2015)</p> <p>Los tipos de neuronas (unipolares, bipolares o multipolares) diferenciadas por carga o número de cuerpos celulares en lugar de su disposición estructural. (Ranaweera y Montplaisir, 2010)</p> <p>Arco reflejo representado como un arco o semicírculo en vez de una cadena neuronal organizada. (Ranaweera y Montplaisir, 2010)</p> <p>Los dibujos de neuronas unipolares, bipolares y multipolares incluyen signos positivos y negativos en el soma celular (Ranaweera y Montplaisir, 2010)</p> <p>Los dibujos presentan 7 errores más frecuentes: la primera neurona representada como “tocar” físicamente a la segunda neurona en una sinapsis química, “sin dirección/sin señal”, los dibujos no incluían una flecha u otro mecanismo para representar el movimiento de la señal (Transmisión sináptica), conexiones dendrita-dendrita, señales bidireccionales, una neurona, axón terminal- axón terminal y conexiones de lado a lado. (Slominski, Momsen y Montplaisir, 2017)</p>
Nivel 3 Funcional	<p>Se desconoce la unidad básica que integra el sistema nervioso, la neurona y su función. (Orozco y Urrea, 2017)</p> <p>Un arco reflejo ilustrado por la acción en lugar de la estructura. (Ranaweera y Montplaisir, 2010)</p> <p>Las funciones del cerebro y del sistema nervioso, son casi idénticas dando la impresión de que son sinónimos. (Alvarado, Rivas y Ochoa, 2012)</p> <p>Las funciones del sistema nervioso están vinculadas a cerebro, que suministra energía. (Alvarado, Rivas y Ochoa, 2012)</p> <p>Las funciones biológicas que tienen los individuos, voluntarias e involuntarias, no las reconocen, señalan que el hipo y los latidos del corazón son intencionales, es decir, que ellos pueden elegir su realización. (Olave y Martín, 2015)</p> <p>Los estudiantes confunden la función del oído interno, con la del oído medio. (Martínez, Rangel y Cepeda, 2015)</p> <p>Las respuestas de movimiento siempre son generadas por los músculos sin intervención del cerebro. (Garcés, 2018)</p> <p>Reconocen algunas funciones del sistema nervioso, pero no logran explicarlas y menos asociarlas con su entorno (Orozco y Urrea, 2017).</p>
Nivel 4 Relacional	<p>Las neuronas y los nervios actúan como cables eléctricos. (González-García y Tamayo-Hurtado, 2000)</p> <p>El funcionamiento del sistema nervioso se basa en los impulsos eléctricos que recorren las neuronas. (González-García y Tamayo-Hurtado, 2000)</p> <p>Las neuronas están conectadas entre sí mediante sus prolongaciones, y pueden pasarse mensajes unas a otras debido a que por ellas circula una corriente eléctrica de muy baja intensidad (González-García y Tamayo-Hurtado, 2000)</p> <p>Los estudiantes no suelen considerar las relaciones entre el sistema nervioso central y los órganos receptores. (González-García y Tamayo-Hurtado, 2000)</p> <p>Los estudiantes reconocen que el cerebro y los nervios son una parte morfológica del sistema nervioso, pero no integran los demás órganos que lo constituyen, tales como: médula espinal y cerebelo, entre otros. (Olave y Martín, 2015)</p> <p>Los estudiantes ven el cerebro como un todo y al mismo tiempo lo independizan de cada uno de los sistemas que compone el cuerpo humano. (Olave y Martín, 2015; Orozco y Urrea, 2017)</p>

2.6 Mapa de Progreso de Aprendizaje

La secuencia de enseñanza aprendizaje se ha estructurado a través de un mapa de progreso de aprendizaje con 4 niveles de progresión: conceptual, estructural, funcional y relacional, los cuales se resumen en la tabla 5.

Tabla 5. Niveles de Progresión y sus respectivas descripciones.

Nivel de Progresión	Descripción	Modelización
Nivel 1 Conceptual	En este nivel, los estudiantes definen conceptos asociados a la respuesta nerviosa, deben conceptualizar sistema nervioso central, autónomo, somático, periférico, red nerviosa, cordón nervioso, ganglio nervioso, neurona unipolar, neurona bipolar, neurona multipolar, célula glial, neurotransmisor, receptor de membrana, vaina de mielina, sinapsis, impulso nervioso, transmisión nerviosa, potencial de acción, potencial de reposo, nodo de Ranvier, polaridad, nervios motores, nervios sensitivos, diferencia de potencial, arco reflejo. Además, conceptualizan a los receptores sensitivos, como componentes fundamentales en los circuitos neuronales para el procesamiento de la información y funcionamiento del arco reflejo.	Modelo Inicial
Nivel 2 Estructural	En este nivel, los estudiantes identifican diferentes estructuras nerviosas, tales como tejidos y órganos nerviosos, los cuales son clave para la comprensión de la respuesta nerviosa. Reconocen la estructura morfológica de las neuronas unipolares, bipolares y multipolares y de estructuras del sistema nervioso central como el encéfalo y médula espinal; y sistema nervioso periférico, el cual está formado por nervios sensoriales y nervios motores, para los procesos que se llevan a cabo a nivel celular y que determinan el funcionamiento global del sistema nervioso.	Modelo Intermedio
Nivel 3 Funcional	En este nivel, los estudiantes conocen y relacionan las funciones del sistema nervioso central y periférico, las cuales son clave para la comprensión de la respuesta nerviosa y organización del sistema. Así mismo, identifican las funciones básicas de las neuronas sensoriales, motoras y de asociación, sinapsis y neurotransmisores, comprenden las funciones motoras de la médula espinal y reflejos medulares y la importancia del sistema nervioso en la regulación y coordinación de las funciones sistémicas, la motricidad y el comportamiento. Los estudiantes diferencian funcionalmente el sistema somático del autónomo que se divide en nervios simpáticos y parasimpáticos.	Modelo Intermedio
Nivel 4 Relacional	En este nivel, los estudiantes en sus distintos niveles de organización analizan que el funcionamiento de los organismos se debe a la integración funcional del sistema nervioso con otros sistemas. Los estudiantes establecen relaciones y comprenden que la respuesta nerviosa posee una unidad básica de actividad refleja integrada por el arco reflejo, el cual consta de un órgano de los sentidos, una neurona aferente, una o más sinapsis dentro de una estación integradora central, una neurona aferente y un efector. Los estudiantes comprenden que la respuesta nerviosa pone en secuencia los sucesos en la transmisión de un impulso de una neurona a otra y sus diferentes modos en que ésta puede responder.	Modelo Final

La figura 8 representa y articula los niveles de progresión del aprendizaje con énfasis en la modelización, el nivel 1 esperado se asocia a un modelo inicial, los niveles 2 y 3 a modelos intermedios y el nivel 4 a un modelo final.

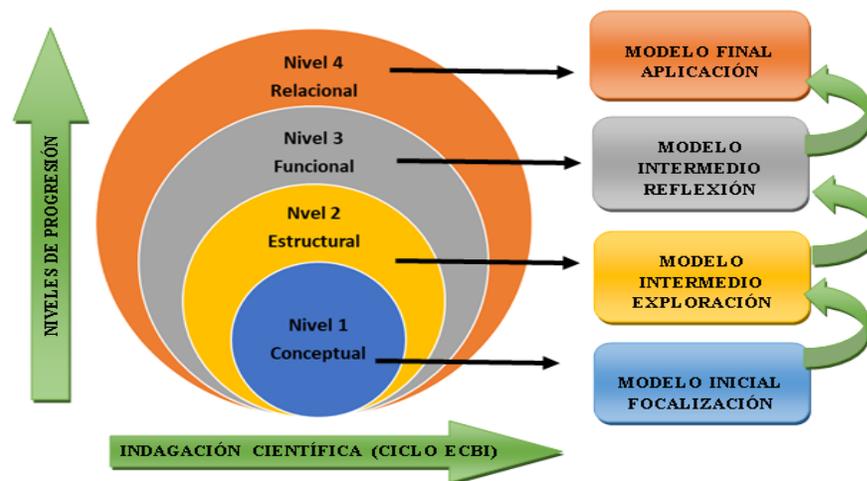


Figura 8. Representación según niveles de progresión y modelización de la secuencia enseñanza y aprendizaje de la respuesta nerviosa (Elaboración propia)

Justificación de foco/énfasis

En relación con este aspecto, el diseño didáctico se fundamenta en indagación científica, para Devés y Reyes (2007), el Programa de Educación en Ciencias Basada en la Indagación (ECBI), consta de cuatro etapas: Focalización, exploración, reflexión y aplicación; este ciclo persigue contribuir al cambio y la innovación de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, utilizando un enfoque que fundamentado en la investigación aporte a la construcción de capacidades e impacte en la definición de la política pública en ciencias.

La estrategia de implementación del programa es sistémica y está inspirada en dos ideas centrales, la primera que se relaciona con la innovación en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y requiere no sólo de nuevos enfoques curriculares o metodológicos, sino que además de otras condiciones de contexto que favorezcan el cambio, la segunda, que permita el cambio de una pedagogía basada en la transmisión de contenidos a una que se sustente en la indagación.

La indagación científica refuerza la idea de la formulación de preguntas, planificación y conducción de investigaciones por parte de los estudiantes y durante el desarrollo de las actividades que se proponen en la secuencia, tendrán la oportunidad para moldear sus experiencias acerca de la práctica de la ciencia y las reglas del pensamiento y conocimiento científico.

Según Harlen (2010) las grandes ideas de la ciencia pueden usarse para explicar y hacer predicciones sobre una serie de fenómenos relacionados en el mundo natural y deben ser expresadas de manera apropiada para los estudiantes en las distintas etapas de su desarrollo cognitivo. Así también, Harlen (2015) refuerza la modelización en la idea de la ciencia N°12,

que establece: “Las explicaciones, las teorías y modelos científicos son aquellos que mejor dan cuenta de los hechos conocidos en su momento” (p.18).

Organización Curricular

En cuanto a la organización curricular de la secuencia de enseñanza y aprendizaje de la respuesta nerviosa, fue muy importante lograr su coherencia para dar cuenta de los indicadores de evaluación comprometidos. En este sentido, en la figura 9 se muestra las relaciones que se establecen entre la progresión de modelos y la indagación científica en cuanto a las actividades que se proponen para el logro de los conocimientos, habilidades y actitudes científicas asociadas con la noción científica de la respuesta nerviosa.

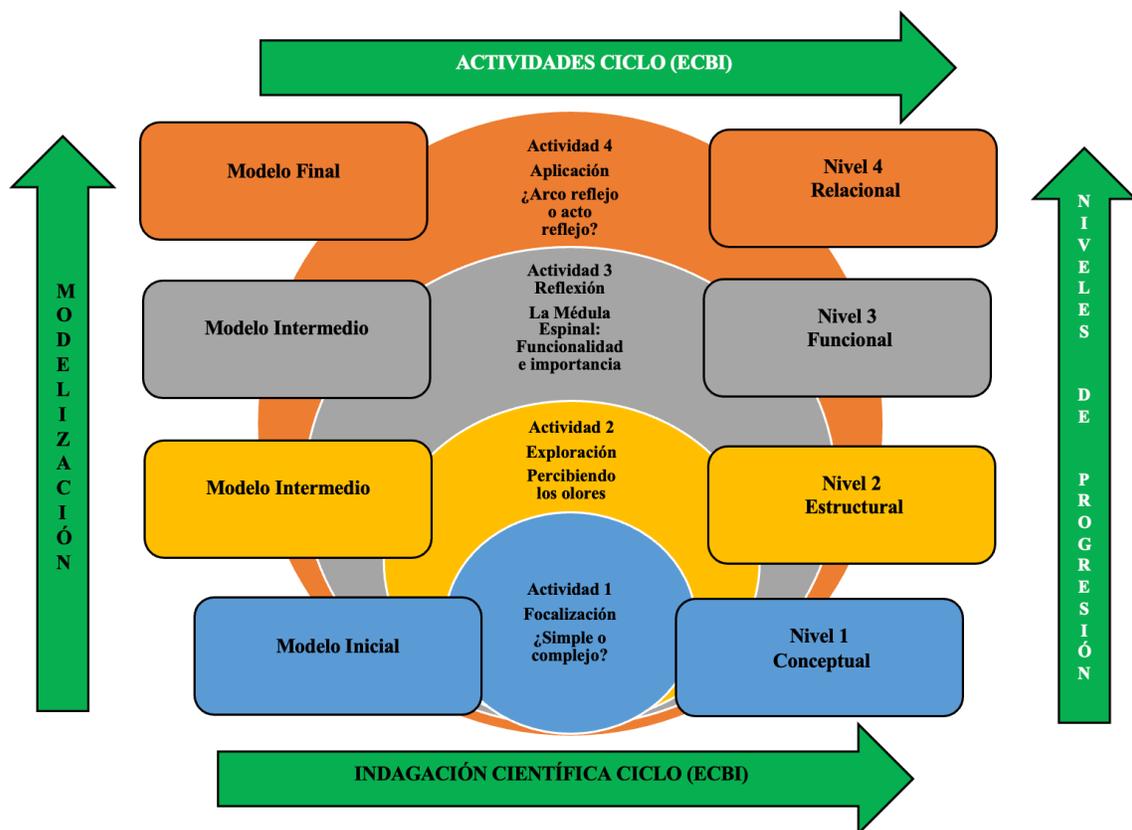


Figura 9. Representación según niveles de progresión y modelización de la secuencia enseñanza y aprendizaje de la respuesta nerviosa (Elaboración propia).

En la tabla 6, se presenta una síntesis con las actividades que se proponen a los estudiantes, sustentadas en el Ciclo de Enseñanza basado en la Indagación Científica (ECBI), las cuales permitan por una parte identificar las concepciones alternativas asociadas con la respuesta nerviosa y por otro contribuir a resignificar su conocimiento científico a través del logro progresivo de niveles: conceptual, estructural, funcional y relacional.

Tabla 6. Distribución progresiva de actividades basadas en modelización e indagación científica. (Elaboración propia)

#	Título de la actividad	Tipo de actividad	Fase Indagación Científica	Finalidad	Modelización
1	¿Simple o complejo?	Individual y grupal	Focalización	Primer nivel de progresión (Conceptual) , se hace una readecuación de las tareas a modalidad virtual, considerando la fusión entre dos actividades de focalización, cuyo objetivo persigue comparar el sistema nervioso de animales invertebrados y vertebrados con la finalidad de que analicen cómo los organismos se han especializado y desarrollado mecanismos evolutivos a lo largo de la historia que posibilitan su funcionamiento sistémico e interacción con el medio.	Modelo Inicial
2	Percibiendo los olores	Individual y grupal	Exploración	Segundo nivel de progresión (Estructural) , se hace una readecuación de las tareas a modalidad virtual, considerando la fusión entre dos actividades de exploración. Se reformula el objetivo de la actividad con la finalidad de que los estudiantes desarrollen un modelo explicativo sobre la importancia que tiene el encéfalo “nasal” en la percepción de los olores.	Modelo Intermedio
3	Reparando la Médula Espinal: Funcionalidad e importancia.	Individual y grupal	Reflexión	Tercer nivel de progresión (Funcional) , se hace una readecuación de las tareas a modalidad virtual, considerando la fusión entre dos actividades de reflexión. Se reformula el objetivo de la actividad a explicar el rol de la médula espinal en la conducción de la información sensitiva y motora desde y hacia el encéfalo; y su función como centro elaborador de respuestas reflejas. Además, de analizar las características de las divisiones simpática, parasimpática y visceral del sistema nervioso autónomo para la homeostasis del organismo y respuesta de adaptación ante cambios del medio ambiente externo e interno.	Modelo Intermedio

4 ¿Arco reflejo o acto reflejo?	Individual y grupal	Aplicación	Cuarto nivel de progresión (Relacional) , se hace una readecuación de las tareas a modalidad virtual, considerando la fusión entre dos actividades de aplicación. Se reformula el objetivo de la actividad a diferenciar a nivel conceptual, estructural, funcional y relacional un reflejo somático de un reflejo visceral sobre la base de un modelo explicativo y de analizar anomalías asociadas con la percepción del dolor diferenciándolas de un anestésico	Modelo Final
---------------------------------	---------------------	------------	---	--------------

En la tabla 7 se presenta la unidad didáctica de la respuesta nerviosa, la cual persigue alcanzar los conocimientos, desarrollar habilidades de pensamiento científico y actitudes que atiendan a los procesos personales de aprendizaje de cada uno de los estudiantes. De estos últimos, se espera que logren aprendizajes significativos a partir de actividades de indagación científica, que estimulen la capacidad de observar, de buscar evidencias, de procesar e interpretar datos, de diseñar y usar modelos, de realizar actividades y/o investigaciones experimentales o bibliográficas, y que participen en el análisis de situaciones que sean parte de su vida o de su entorno, lo que les facilitará la elaboración de explicaciones y evaluaciones del proceso de aprendizaje.

Tabla 7. Unidad Didáctica Respuesta nerviosa (Elaboración propia)

Eje Temático	Respuesta nerviosa
Objetivos de Aprendizaje	1. Explicar el mecanismo de regulación, coordinación e integración de las funciones sistémicas. 2. Analizar la adaptación del organismo a las variaciones del entorno, apoyándose en la capacidad de informar de los órganos de los sentidos.
Objetivo de Aprendizaje eje temático	1. Comparar el sistema nervioso de animales invertebrados y vertebrados con la finalidad de que analicen cómo los organismos se han especializado y desarrollado mecanismos evolutivos a lo largo de la historia que posibilitan su funcionamiento sistémico e interacción con el medio. 2. Desarrollar un modelo explicativo sobre la importancia que tiene el encéfalo “nasal” en la percepción de los olores. 3. Relacionar la facultad de los órganos de los sentidos de informar al organismo sobre cambios en el entorno con la capacidad adaptativa del organismo para responder a estímulos del entorno. 4. Explicar la transformación de la información del entorno en un mensaje electroquímico por acción de diversos receptores sensoriales. 5. Identificar estructuras del sistema nervioso y describir sus funciones, como conducción de información (médula espinal y nervios) y elaboración y control (cerebro). 6. Explicar el rol de la médula espinal en la conducción de la información sensitiva y motora desde y hacia el encéfalo; y su función como centro elaborador de respuestas reflejas.

	<p>7. Analizar las características de las divisiones simpática, parasimpática y visceral del Sistema Nervioso Autónomo para la homeostasis del organismo y respuesta de adaptación ante cambios del medio ambiente externo e interno.</p> <p>8. Diferenciar a nivel estructural, funcional y relacional un reflejo somático de un reflejo visceral sobre la base de un modelo explicativo.</p> <p>9. Analizar anomalías asociadas con la percepción del dolor diferenciándolas de un anestésico</p> <p>10. Analizar el mecanismo de regulación, coordinación e integración de las funciones sistémicas.</p> <p>11. Crear un modelo explicativo acerca de los procesos asociados a la respuesta nerviosa.</p> <p>12. Integrar los conocimientos de la respuesta nerviosa para poder explicar las funciones del Sistema Nervioso de manera articulada.</p>
Habilidad y procesos de investigación científica	<p>1. Observan y describen detalladamente las características de objetos, procesos y fenómenos.</p> <p>2. Diseñan un experimento y organizan los datos obtenidos a partir de evidencias confiables.</p> <p>3. Analizan y explican los resultados de una investigación científica, para plantear inferencias y conclusiones.</p> <p>4. Crean, seleccionan, usan y ajustan modelos para describir mecanismos y para predecir y apoyar explicaciones con evidencias provenientes de investigaciones científicas.</p> <p>5. Utilizan fuentes bibliográficas como libros universitarios o sitios interactivos confiables para la elaboración individual o consensuada de modelos, mapas conceptuales, mapas mentales o representaciones gráficas.</p>
Actitudes científicas	<p>1. Trabajar responsablemente en forma proactiva y colaborativa, considerando los aportes del equipo en la solución de problemas científicos.</p> <p>2. Mostrar interés por conocer y comprender fenómenos científicos.</p> <p>3. Manifestar pensamiento crítico y argumentar basándose en evidencias válidas y confiables.</p> <p>4. Usar de manera responsable y efectiva las tecnologías de la comunicación para favorecer las explicaciones científicas y el procesamiento de evidencias, dando crédito al trabajo de otros y respetando la propiedad y la privacidad de las personas.</p>
Indicadores de evaluación/logro	<p>1. Comparan el sistema nervioso de animales invertebrados y vertebrados con la finalidad de que analicen cómo los organismos se han especializado y desarrollado mecanismos evolutivos a lo largo de la historia que posibilitan su funcionamiento sistémico e interacción con el medio.</p> <p>2. Desarrollan un modelo explicativo sobre la importancia que tiene el encéfalo “nasal” en la percepción de los olores.</p> <p>3. Relacionan la facultad de los órganos de los sentidos de informar al organismo sobre cambios en el entorno con la capacidad adaptativa del organismo para responder a estímulos del entorno.</p> <p>4. Explican la transformación de la información del entorno en un mensaje electroquímico por acción de diversos receptores sensoriales.</p> <p>5. Identifican estructuras del sistema nervioso y describir sus funciones, como conducción de información (médula espinal y nervios) y elaboración y control (cerebro).</p> <p>6. Explican el rol de la médula espinal en la conducción de la información sensitiva y motora desde y hacia el encéfalo; y su función como centro elaborador de respuestas reflejas.</p>

	<p>7. Analizan las características de las divisiones simpática, parasimpática y visceral del Sistema Nervioso Autónomo para la homeostasis del organismo y respuesta de adaptación ante cambios del medio ambiente externo e interno.</p> <p>8. Diferencian a nivel estructural, funcional y relacional un reflejo somático de un reflejo visceral sobre la base de un modelo explicativo.</p> <p>9. Analizan anomalías asociadas con la percepción del dolor diferenciándolas de un anestésico</p> <p>10. Analizan el mecanismo de regulación, coordinación e integración de las funciones sistémicas.</p> <p>11. Crean un modelo explicativo acerca de los procesos asociados a la respuesta nerviosa.</p> <p>12. Integran los conocimientos de la respuesta nerviosa para poder explicar las funciones del Sistema Nervioso de manera articulada.</p>
Conceptos clave	Neuronas unipolares, bipolares y multipolares, neuronas sensoriales, motoras y de asociación, red nerviosa, cordón nervioso, ganglio nervioso, Sistema Nervioso Central, Receptores sensitivos, Sistema Nervioso Periférico, Sistema Nervioso Autónomo, Sistema Nervioso Simpático, Sistema Nervioso Parasimpático, impulso nervioso, médula espinal, arco reflejo, cerebro, neurotransmisor, sinapsis, neurona sensitiva, interneurona o neurona integradora, neurona motora.
Contenidos a abordar en la Secuencia Enseñanza Aprendizaje	<ul style="list-style-type: none"> - Respuesta nerviosa - Divisiones funcionales del Sistema Nervioso Central: Estructura y función - Órganos de los sentidos y receptores nerviosos - Relación entre Sistema Nervioso y funciones sistémicas. - Arco reflejo: Componentes y funcionalidad. - Sistema Nervioso Periférico: Estructura y función - Sistema Nervioso Autónomo (Sistema Nervioso Simpático y Sistema Nervioso Parasimpático): Respuesta a estímulos internos y funcionalidad.
Grandes Ideas (Harlen, 2010)	GI 12: Las explicaciones, las teorías y modelos científicos son aquellos que mejor dan cuenta de los hechos conocidos en su momento
Destinatarios	6 estudiantes de Cuarto año de Pedagogía en Ciencias con Mención en Biología de la Universidad de la Frontera de Temuco de la asignatura de Didáctica de la Biología.
Temporalidad	4 sesiones sincrónicas en modalidad virtual de 60 minutos cada una.
Materiales	Guías de aprendizaje para cada estudiante o grupo, sustancias de uso común, hojas en blanco de oficio o de cuaderno, soluciones dulces, saladas y ácidas. Textos de estudio, fotocopias de artículos científicos.

En cuanto al desarrollo de la planificación y actividades de la secuencia de enseñanza y aprendizaje, esta se describe y desarrolla en detalle. (Ver anexo 3)

Objetivos, preguntas de investigación y supuestos

Evaluar la implementación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje universitario basada en la modelización de la respuesta nerviosa y con foco en el desarrollo de procesos de indagación científica para la comprensión del sistema nervioso.

Pregunta de Investigación General

¿Cómo cambian las concepciones alternativas sobre la noción científica de la respuesta nerviosa que poseen los estudiantes universitarios al implementar una secuencia de enseñanza y aprendizaje universitario basada en la modelización de la respuesta nerviosa y

con foco en el desarrollo de procesos de indagación científica para la comprensión del Sistema Nervioso?

Objetivos Específicos

1. Describir el avance progresivo de los niveles de la respuesta nerviosa en un grupo de estudiantes universitarios a partir de la implementación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje basada en la modelización y en el desarrollo de procesos de indagación científica para la comprensión del sistema nervioso.
2. Analizar el proceso de resignificación del conocimiento de la respuesta nerviosa sobre la base del avance progresivo de los niveles definidos conceptual, estructural, funcional y relacional para la secuencia de enseñanza y aprendizaje.

Preguntas de Investigación Específicas

1. ¿Cómo la modelización y el desarrollo de procesos de indagación científica en una secuencia de enseñanza y aprendizaje, favorece el aprendizaje y resignificación del conocimiento científico sobre la respuesta nerviosa en los estudiantes universitarios?
2. ¿Qué elementos facilitan u obstaculizan la resignificación de conocimiento científico y de las concepciones alternativas sobre la noción científica de la respuesta nerviosa que poseen los estudiantes universitarios?

Supuestos de Investigación

1. La modelización como progresión de modelos y estrategia didáctica con estudiantes universitarios facilita el avance progresivo de los niveles de la respuesta nerviosa definidos en la secuencia de enseñanza y aprendizaje.
2. La indagación científica favorece en los estudiantes el desarrollo de los niveles progresivos de la respuesta nerviosa definidos en la secuencia de enseñanza y aprendizaje para el aprendizaje del sistema nervioso.

Metodología del Diseño Didáctico

Para la secuencia de enseñanza y aprendizaje objeto de este estudio, se ha optado por la **Metodología Basada en el Diseño**, la cual y desde la perspectiva de Anderson y Shattuck (2012) ha demostrado ser útil en entornos de aprendizaje que son complejos y donde la evaluación formativa juega un importante papel. Así mismo, Armstrong, Dopp y Welsh (2018) señalan que, en un entorno educativo, la investigación basada en el diseño es un enfoque que se involucra en diseños iterativos para desarrollar conocimientos que mejoren las prácticas educativas, porque coloca a los investigadores como agentes de cambio y a los

sujetos de investigación como colaboradores. Con respecto a la idea de diseños iterativos, Plomp y Nieveen (2007) señalan que la investigación persigue diseñar una intervención en un entorno del mundo real, pues, incorpora ciclos de análisis, diseño y desarrollo, evaluación y revisión; está orientado al proceso y la atención se centra en comprender y mejorar las intervenciones, por cuanto, su utilidad se mide en contextos reales y el diseño se basa en un marco conceptual y en proposiciones teóricas, mientras que la evaluación sistemática de la intervención contribuyen a la construcción de la teoría. En este mismo sentido, Zheng (2015), refiere que la investigación basada en el diseño combina el desarrollo de teorías que han proliferado los últimos años con el diseño de entornos de aprendizaje.

Metodología de la Investigación

Este estudio corresponde a una investigación cualitativa, la cual y desde la perspectiva de (Rodríguez, Gil y García, 1996; Vasilachis de Gialdino, 2006; Gibbs, 2012; Rapley, 2014; Flick, 2015; Sampieri, 2018), busca entender, describir y algunas veces explicar fenómenos sociales desde el interior, se interesa por acceder a las experiencias de los individuos o de los grupos, interacciones y documentos en su contexto natural, y en una manera que deje espacio para las particularidades de esas experiencias, interacciones y documentos y de los materiales en los que se estudian.

Diseño

El diseño de este estudio es fenomenológico, descriptivo y busca especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis (Hernández, Fernández y Baptista, 1994). Según Flick (2007), el tipo de investigación cualitativa que más se acomoda a los propósitos de este estudio fenomenológico es el interpretativo. La ciencia social interpretativa, es aquella que pretende explicar la acción social en términos de los motivos de los individuos inmersos en ella (Mella y Osses, 2015). Así mismo, Rodríguez (2003) refiere que una investigación interpretativa no considera un observador ajeno a la realidad estudiada, sino, muy por el contrario, uno inmerso en ella, a fin de que pueda comprender su significado.

Muestra

La muestra seleccionada está constituida por 6 estudiantes de cuarto año de la Carrera de Pedagogía en Ciencias de la Universidad de La Frontera de Temuco, que cursan la asignatura de Didáctica de la Biología el segundo semestre 2020 y que accedieron voluntariamente a participar de este estudio. La muestra es no probabilística, intencionada de sujetos tipo, cuya ventaja es que no se requiere de representatividad, sino de ciertas características de los elementos muestrales, pues busca la riqueza, profundidad y calidad de la información, y no la cantidad y estandarización (Hernández, Fernández y Baptista, 1994)

Instrumentos de generación de datos

Las técnicas de recolección de datos utilizadas para este estudio serán:

1. Dibujos de los estudiantes de cuarto año de pedagogía en ciencias, para el levantamiento de concepciones alternativas acerca de temáticas asociadas con la noción científica de la respuesta nerviosa.
2. Instrumento de datos documental por medio de guías de aprendizaje para estudiantes de cuarto año de pedagogía en ciencias, el cual persigue levantar información a través de preguntas y respuestas que se focalizarán en el tema de estudio.
3. Grupo focal con estudiantes de la carrera de pedagogía en ciencias de la UFRO que participaron en el estudio, para conocer la percepción que tienen los estudiantes en función de la implementación y desarrollo de las actividades de aprendizaje asociadas a los conocimientos científicos de la respuesta nerviosa.

Instrumentos de análisis de datos

Para analizar la información obtenida, la técnica utilizada será el análisis de contenido, según Mayan (2001), el investigador busca palabras específicas o ideas expresadas, las cuales son registradas y usadas para generar estadísticas sobre el contenido de los datos o bien, se identifican, codifican y categorizan patrones primarios en los datos para determinar una categoría apropiada.

En este estudio, el método de interpretación hermenéutico y sus categorías conceptuales, serán definidas para ilustrar o defender presupuestos teóricos emergentes; o desafiar teorías convencionales, a partir de un análisis inductivo.

Para el análisis de datos cualitativos se utilizará como instrumento de sistematización redes conceptuales que se generan a partir del análisis de categorías y de las relaciones de la triangulación de fuentes de datos.

Según Rodríguez, Gil y García (1999), la principal función del análisis de datos es organizar la información de manera tal que se pueda dar respuesta al problema planteado al inicio de la investigación. El análisis de datos no es otra cosa que un conjunto de comprobaciones que se realizan con la finalidad de extraer significados relevantes en función de un problema de investigación. La reducción de datos corresponderá a la descomposición del todo en partes que permitan establecer relaciones y extraer conclusiones.

Categorías y subcategorías de análisis del estudio

En la tabla 8 se resumen las categorías y subcategorías de análisis definidas para el estudio, las cuales han sido sustentadas a partir del marco teórico y responden a los objetivos y preguntas de investigación.

Tabla 8. Categorías de análisis y descripciones (Fuente: Elaboración propia)

Categoría	Descripción	Subcategorías	Descripción
------------------	--------------------	----------------------	--------------------

Conceptual	Los estudiantes definen conceptos asociados a la respuesta nerviosa, además de conceptualizar al sistema nervioso (SN), SN autónomo, SN somático, SN periférico, SN central, red nerviosa, cordón nervioso, ganglio nervioso, neurona unipolar, neurona bipolar, neurona multipolar, célula glial, neurotransmisor, receptor de membrana, vaina de mielina, sinapsis, impulso nervioso, transmisión nerviosa, potencial de acción, potencial de reposo, nodo de Ranvier, polaridad, nervios motores, nervios sensitivos, diferencia de potencial, arco reflejo. Además, conceptualizan a los receptores sensitivos, componentes fundamentales en los circuitos neuronales para el procesamiento de la información y funcionamiento del arco reflejo.	Concepciones alternativas	Según Aguilar, Maturano y Nuñez (2007), corresponden a un conjunto de conocimientos construidos por los estudiantes, diferentes de los científicos, que persisten en el tiempo, representan su modo particular de interpretar el entorno y les permiten actuar en distintas circunstancias. Generalmente, estas concepciones alternativas, se organizan en estructuras de conocimiento que con frecuencia surgen de ideas espontáneas que los estudiantes adquieren en su normal desarrollo cognitivo al interactuar con el entorno.
Estructural	Los estudiantes identifican diferentes estructuras nerviosas, tales como tejidos y órganos nerviosos, los cuales son clave para la comprensión de la respuesta nerviosa. Reconocen la estructura morfológica de las neuronas (unipolares, bipolares y multipolares) y de estructuras del sistema nervioso central (encéfalo y médula espinal) y sistema nervioso periférico (formado por nervios sensoriales y nervios motores), para los procesos que se llevan a cabo a nivel celular y que determinan el funcionamiento global del sistema nervioso.	Aprendizaje de la respuesta nerviosa	Según Monereo (2000), las estrategias de aprendizaje se definen como procesos de toma de decisiones (conscientes e intencionales) en los cuales el estudiante elige y recupera, de manera coordinada, los conocimientos que necesita para cumplir una determinada demanda u objetivo, dependiendo de las características de la situación educativa en que se produce la acción.
Funcional	Los estudiantes señalan las funciones del sistema nervioso central y sistema nervioso periférico; las cuales son clave para la comprensión de la respuesta nerviosa y organización del sistema. Así mismo, identifican las funciones básicas de las neuronas sensoriales, motoras y de asociación, sinapsis	Estrategias de Enseñanza	Para Díaz y Hernández (2002), las estrategias de enseñanza se definen como procedimientos que el profesor(a) utiliza para el logro de aprendizajes en los estudiantes, los cuales deben realizarse de manera heurística, es decir, que pueda emplear la creatividad y el pensamiento para resolver algo. Así mismo, Sanmartí (2002) refiere que

	<p>y neurotransmisores, comprenden las funciones motoras de la médula espinal y reflejos medulares y la importancia del sistema nervioso en la regulación y coordinación de las funciones sistémicas, la motricidad y el comportamiento.</p> <p>Los estudiantes diferencian funcionalmente el sistema somático, que estimula al músculo esquelético, y el sistema autónomo, que envía señales a la musculatura lisa, al músculo cardíaco y a las glándulas. Distinguen en este nivel, la función del sistema nervioso autónomo que se divide así mismo en nervios simpáticos y parasimpáticos.</p>	<p>las estrategias de enseñanza son acciones que el profesor(a) planifica con la finalidad de promover el aprendizaje del estudiante, relacionándolo con contenidos determinados.</p>
Relacional	<p>Los estudiantes en sus distintos niveles de organización analizan que el funcionamiento de los organismos se debe a la integración funcional del sistema nervioso con otros sistemas. Los estudiantes establecen relaciones y comprenden que la respuesta nerviosa posee una unidad básica de actividad refleja integrada por el arco reflejo, el cual consta de un órgano de los sentidos, una neurona aferente, una o más sinapsis dentro de una estación integradora central, una neurona aferente y un efector. Además, los estudiantes analizan las relaciones que se establecen entre sistemas para el funcionamiento del organismo.</p> <p>Por último, los estudiantes comprenden que la respuesta nerviosa pone en secuencia los sucesos en la transmisión de un impulso de una neurona a otra y sus diferentes modos en que ésta puede responder.</p>	<p>Resignificación de conocimiento científico</p> <p>Es dar un nuevo uso o significado al conocimiento de cualquier campo o área y adecuarlo a las necesidades propias, sin importar si fue pensado para resolver esa problemática.</p> <p>Para Chica (2010), la generación y el uso de un conocimiento innovativo y de criticidad involucran factores de enseñanza que promuevan un aprendizaje autónomo de autogestión del saber que activen actividades de aprendizaje relacionadas con cosas prácticas para alcanzar la resignificación del conocimiento con base en un entendimiento sensorial que favorezca la construcción de un conocimiento cognitivo que englobe toda la dimensión de la persona en el acto de generar conceptos.</p>

Resultados y Discusión

Los resultados fueron analizados de acuerdo con los diferentes objetivos del estudio y tomando como base las categorías y subcategorías definidas para la secuencia de enseñanza y aprendizaje de la respuesta nerviosa.

Respecto de la **categoría de análisis conceptual**, la primera actividad de la secuencia de enseñanza y aprendizaje del ciclo indagatorio en etapa de focalización, denominada ¿Simple o complejo?, tuvo como objetivo comparar el sistema nervioso de animales invertebrados y vertebrados, para ello, los estudiantes debieron realizar diversas tareas individuales y en colaboración asociadas con la guía de aprendizaje 1 (Ver anexo 3).

Como subcategoría de análisis se definió a las concepciones alternativas, según Carrascosa (2005), este aspecto es relevante por cuanto las concepciones alternativas al no ser pesquisadas a tiempo se traducen en errores conceptuales que persisten en el futuro desempeño profesional.

Recogiendo las palabras de Acher (2014) en cuanto a fomentar la utilización de modelos como herramientas de razonamiento y organizativa de la interpretación fenomenológica, la primera aproximación de un modelo inicial de los estudiantes fue analizada sobre la base de la conformación del sistema nervioso de invertebrados y para ello, debieron dibujar el sistema nervioso de cuatro organismos invertebrados: hidra de agua dulce, planaria chilena, lombriz de tierra y cucaracha chilena. En este sentido, la tabla 9 presenta figuras extraídas de textos y sus respectivas descripciones, con la finalidad de poder contrastar la información con lo obtenido en los dibujos e indagar sobre los supuestos y concepciones alternativas de los estudiantes universitarios.

Tabla 9. Figuras utilizadas en el estudio y su descripción

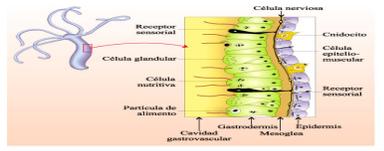
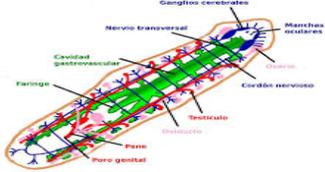
Descripción	Ejemplos de figuras
<p>Los cnidarios son el filo más simple de animales que tienen sistema nervioso, poseen simetría radial, estos animales carecen de centro de control nervioso, poseen muchas neuronas cortas y similares en estructura, dispersas por todo el cuerpo, las cuales constituyen una red nerviosa, lo cual se muestra en la figura 10. La mayoría de las respuestas son locales e involucran nada más una parte del cuerpo, por ejemplo, un solo tentáculo. (Oram, 2007).</p>	
<p>Los gusanos planos poseen simetría bilateral, tienen extremo anterior y posterior y sentido de movimiento con la cabeza hacia adelante. Los animales con estas características tienen un sistema nervioso con centro o centros de control y vías nerviosas específicas. En su extremo anterior hay dos haces de cuerpos de células neuronales llamados ganglios, que son como los cerebros de animales más complejos lo que se muestra en la figura 11. (Oram, 2007).</p>	

Figura 10. Hidra de agua dulce (Fuente: <https://www.pinterest.cl/>)

Figura 11. Planaria Chilena (Fuente: <https://www.pinterest.cl/>)

La figura 12 muestra que los gusanos segmentados, como la lombriz de tierra, tienen dos cordones nerviosos ventrales como en las planarias. Sin embargo, en cada segmento de la lombriz de tierra hay un par de ganglios a lo largo del cordón nervioso que actúan como centros de control. El cerebro, que está ubicado en el lado dorsal de la cabeza, en realidad es sólo un ganglio de tamaño ligeramente mayor. Ejerce un poco más de control que los otros ganglios (Oram, 2007).

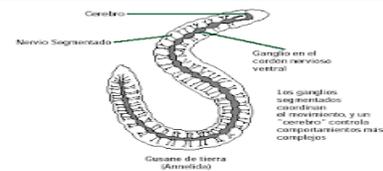


Figura 12. Lombriz de tierra (Fuente: <https://www.pinterest.cl/>)

Los artrópodos son segmentados, pero tienen menos ganglios y un cerebro un poco más prominente que ejerce mayor control que el de la lombriz de tierra. En la figura 13 se muestra que tienen un cerebro dorsal y cordones nerviosos ventrales. La ubicación del principal centro de control, el cerebro, en el extremo anterior del animal, permitió que los organismos se adaptaran con más facilidad a su ambiente. A medida que el animal se desplaza, su extremo anterior es el primero que encuentra estímulos del ambiente. (Oram, 2007).

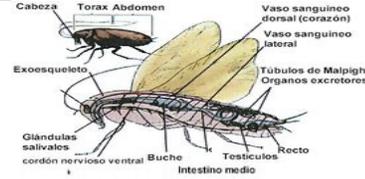
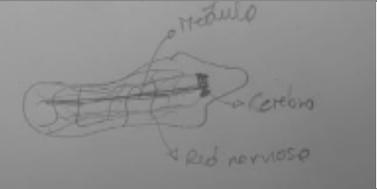
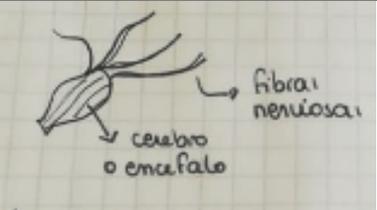


Figura 13. Cucaracha chilena (Fuente: <https://www.pinterest.cl/>)

Sobre la base de la modelización como progresión de modelos (Oliva, 2019), el modelo inicial quedó sujeto a los dibujos de los organismos invertebrados realizados por los estudiantes universitarios, los cuales fueron analizados a partir de tres niveles de representación que se describen en la tabla 10.

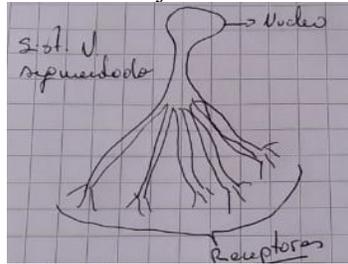
Tabla 10. Niveles de representación y su descripción (Elaboración propia)

Nivel de Representación	Descripción	Ejemplos
1	En este nivel se presentan concepciones alternativas en los estudiantes, el dibujo identifica estructuras del sistema nervioso inexistentes en invertebrados, lo que refleja errores conceptuales importantes. Por ejemplo: médula espinal en invertebrados.	
2	En este nivel se presentan concepciones alternativas en los estudiantes, el dibujo identifica estructuras del sistema nervioso de invertebrados de manera errónea o las rotula de manera equivocada. Por ejemplo: núcleo en vez de neuronas, etiqueta SNC y SNP o cerebro en una hidra de agua dulce.	
3	En este nivel no se presentan concepciones alternativas en los estudiantes, es lo esperable por cuanto el dibujo identifica de manera correcta estructuras del sistema nervioso de invertebrados. Por ejemplo: neuronas, red nerviosa, ganglio nervioso, cordón nervioso, receptor sensorial, según corresponda.	

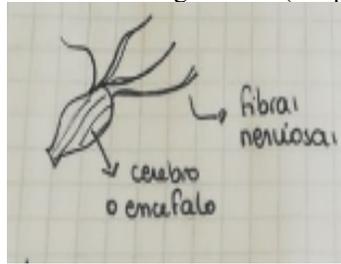
A partir de lo anterior se analizaron los dibujos de los estudiantes, lo cual muestra debilidades en la tabla 11, porque 5 de 6 estudiantes presenta concepciones alternativas, lo que

corresponde a un 83,3%. No hay estudiantes en nivel de representación 1 de una hidra de agua dulce.

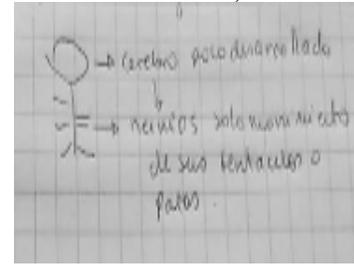
Tabla 11. Dibujos de los estudiantes sobre Hidra de agua dulce (Grupo Cnidaria o celenterados)



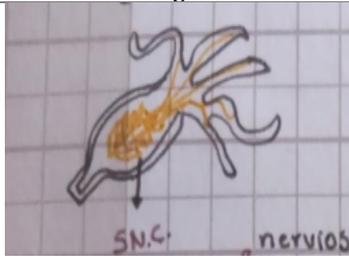
E1 Figura 14



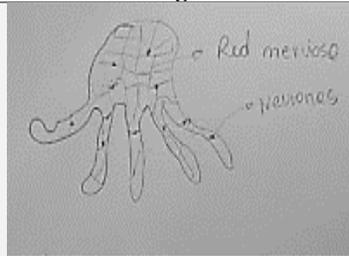
E2 Figura 15



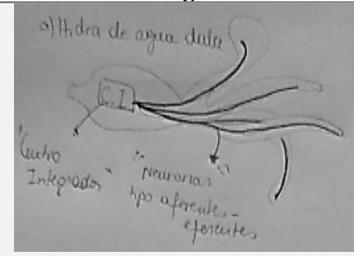
E3 Figura 16



E4 Figura 17



E5 Figura 18

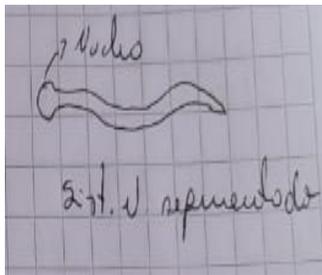


E6 Figura 19

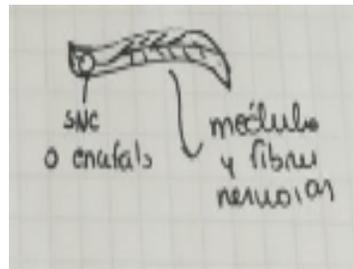
Las figuras 14, 15, 16, 17 y 19 se ubican en nivel de representación 2. Por ejemplo, la figura 14 presenta núcleo y un sistema nervioso segmentado, en consecuencia que poseen simetría radial, la figura 15 si bien señala fibras nerviosas, identifica un cerebro o encéfalo como órgano central, pero estos animales carecen de centro de control nervioso, similar es lo representado en la figura 16, un cerebro poco desarrollado y nervios, solo para movimientos de sus tentáculos o patas, los tentáculos se señalan como sinónimo de “patas”, sin embargo, la mayoría de las respuestas son locales e involucran nada más una parte del cuerpo, por ejemplo, un solo tentáculo. Respecto de la figura 17 el dibujo muestra el sistema nervioso central sin especificar estructuras como neuronas o red nerviosa y la figura 19, identifica un centro integrador y neuronas tipo aferentes y eferentes en la parte posterior, existiendo concepciones alternativas, por cuanto, en hidras de agua dulce, no hay diferenciación entre neuronas aferentes y eferentes; poseen muchas neuronas cortas y similares en estructura, dispersas por todo el cuerpo y carecen de centro de control nervioso. En cuanto al nivel de representación 3, sólo en la figura 18 (E5) no se identifican concepciones alternativas y se rotula de manera correcta las neuronas y una red nerviosa en la hidra de agua dulce.

En cuanto a los dibujos de una planaria, la tabla 12 muestra debilidades porque el 100% de los estudiantes presenta concepciones alternativas. Se observa que las figuras 21 y 24 se ubican en nivel de representación 1.

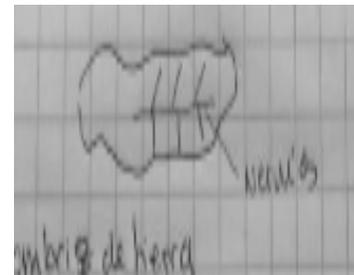
Tabla 12. Dibujos de los estudiantes sobre Planaria Chilena (Grupo Platelminetos)



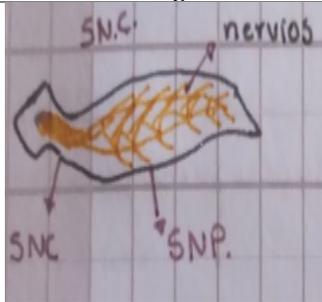
E1 Figura 20



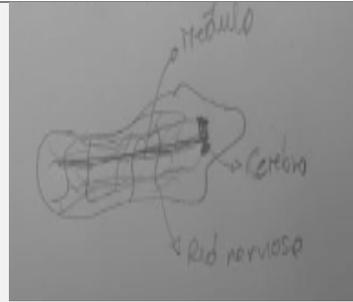
E2 Figura 21



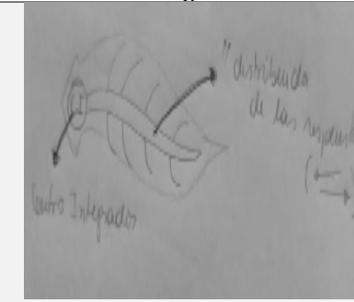
E3 Figura 22



E4 Figura 23



E5 Figura 24



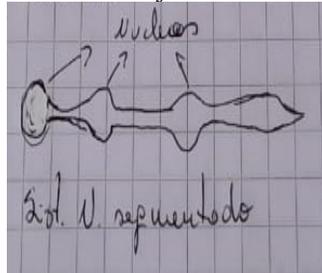
E6 Figura 25

La figura 21 identifica en la región anterior el sistema nervioso central o encéfalo y en la región posterior la médula y fibras nerviosas, identificándose concepciones alternativas, por cuanto los organismos invertebrados no poseen médula, tampoco encéfalo, los gusanos planos poseen simetría bilateral, como la mayoría de los animales, tienen extremo anterior y posterior y sentido de movimiento con la cabeza hacia adelante, los animales con estas características tienen un sistema nervioso con centro o centros de control y vías nerviosas específicas. Así mismo, la figura 24, representa en la región superior un cerebro, al centro la médula y una red nerviosa; se identifican concepciones alternativas, por cuanto los organismos invertebrados no poseen médula, tampoco cerebro, poseen una región cefálica (cabeza) que tiene ganglios cerebrales. Respecto de las figuras 20, 22, 23 y 25 se ubican en nivel de representación 2. Por ejemplo, la figura 20 identifica en la planaria un núcleo y que el sistema nervioso es segmentado, pero los organismos invertebrados no poseen núcleo en la parte anterior, corresponden a ganglios cerebrales que cumplen una función de control e integración, la figura 22 representa en el centro de la planaria nervios, sin embargo, se identifican concepciones alternativas, por cuanto los organismos invertebrados como la planaria poseen ganglios cerebrales y cordones nerviosos; y sólo se identificaron nervios en la región posterior. En cuanto a la figura 23, el dibujo representa el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico, además, al centro se identifican nervios. Sin embargo, hay concepciones alternativas, por cuanto en organismos invertebrados como la planaria no hay diferenciación entre SNC y SNP, posee ganglios cerebrales y cordones nerviosos; y sólo se identificaron nervios en la región posterior. La figura 25 identifica en la región anterior un centro integrador y en la región posterior se indica con flechas que desde ese lugar son distribuidas las respuestas, se presentan concepciones alternativas porque desde los ganglios cerebrales se prolongan longitudinalmente dos cordones nerviosos hasta el extremo posterior del cuerpo. En su extremo anterior hay dos haces de cuerpos de células neuronales llamados

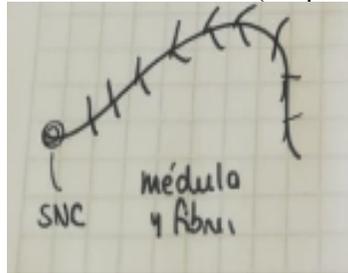
ganglios, que son como los cerebros de animales más complejos. Desde los ganglios se extienden dos cordones nerviosos ventrales que corren a lo largo del cuerpo y que están conformados por los axones de las neuronas. Ningún estudiante queda clasificado en nivel de representación 3 de una planaria.

En cuanto a los dibujos de una lombriz de tierra, la tabla 13 muestra debilidades porque el 100% de los estudiantes presenta concepciones alternativas. Se evidencia que las figuras 27 y 30 se ubican en nivel de representación 1.

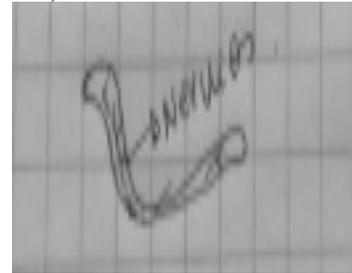
Tabla 13. Dibujos de los estudiantes sobre Lombriz de tierra (Grupo Anélidos)



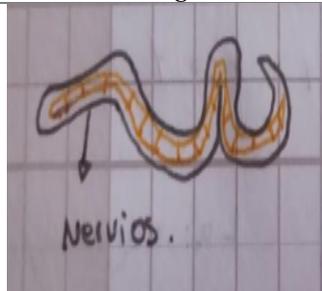
E1 Figura 26



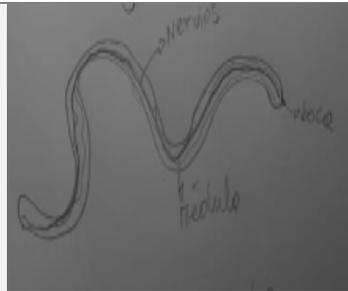
E2 Figura 27



E3 Figura 28



E4 Figura 29



E5 Figura 30



E6 Figura 31

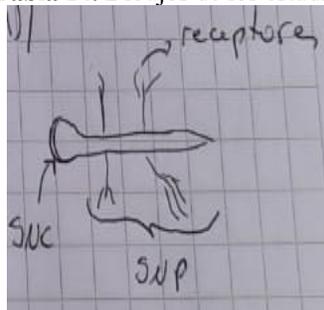
La figura 27 identifica en la región anterior al SNC y a lo largo del cuerpo del organismo la médula y fibras, se identifican concepciones alternativas, por cuanto los organismos invertebrados no poseen médula, en la región anterior se identifica el SNC, pero corresponde a ganglios que forman un cerebro que está ubicado en el lado dorsal de la cabeza. Así mismo, la figura 30, identifica nervios, médula y boca, se identifican concepciones alternativas, por cuanto los organismos invertebrados no poseen médula, tienen ganglios que forman un cerebro, además de cordones nerviosos longitudinales y nervios laterales. Respecto de las figuras 26, 28, 29 y 31 se ubican en nivel de representación 2. Por ejemplo, en la figura 26, el dibujo identifica varios núcleos a lo largo del cuerpo del organismo y se señala que el sistema nervioso es segmentado, pero, se identifican concepciones alternativas, por cuanto posee ganglios que forman un cerebro, además de cordones nerviosos longitudinales y nervios laterales, la figura 28, identifica sólo en la región central nervios, hay concepciones alternativas, por cuanto en cada segmento de la lombriz de tierra hay un par de ganglios a lo largo del cordón nervioso que actúan como centros de control. La figura 29 es similar a la anterior, sin embargo, en este caso el dibujo identifica en la región anterior los nervios. Así mismo, la figura 31 en su dibujo identifica en la región anterior un centro integrador y

receptores, pero hay concepciones alternativas, por cuanto el cerebro, que está ubicado en el lado dorsal de la cabeza, en realidad es sólo un ganglio de tamaño ligeramente mayor. Ejerce un poco más de control que los otros ganglios. Ningún estudiante queda clasificado en nivel de representación 3 de una lombriz de tierra.

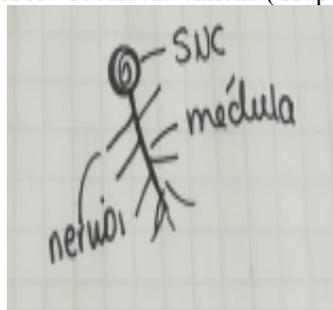
En cuanto a los dibujos de una cucaracha, la tabla 14 muestra debilidades porque el 100% de los estudiantes presenta concepciones alternativas. Se observa que las figuras 33 y 36 se ubican en nivel de representación 1.

La figura 33, identifica en la región anterior el sistema nervioso central, médula y nervios a lo largo del organismo, se identifican concepciones alternativas, por cuanto los organismos invertebrados no poseen médula, misma situación ocurre con la figura 36, que identifica en la parte anterior cerebro, pero los nervios y la médula los sitúa en la parte media, en consecuencia, que la cucaracha no tiene médula. Respecto de las figuras 32, 34, 35 y 37 se ubican en nivel de representación 2. Por ejemplo, en la figura 32, el dibujo identifica en la región anterior el sistema nervioso central y en la región media y posterior receptores y sistema nervioso periférico, se identifican concepciones alternativas, por cuanto poseen ganglios en la región cefálica que constituyen un cerebro, cordones nerviosos ventrales y órganos sensitivos como ojos y antenas; además, de nervios laterales conectados con estructuras motoras como los músculos de las patas.

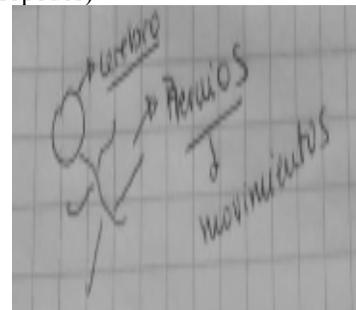
Tabla 14. Dibujos de los estudiantes sobre Cucaracha chilena (Grupo Artrópodos)



E1 Figura 32



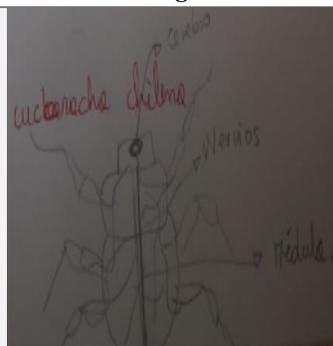
E2 Figura 33



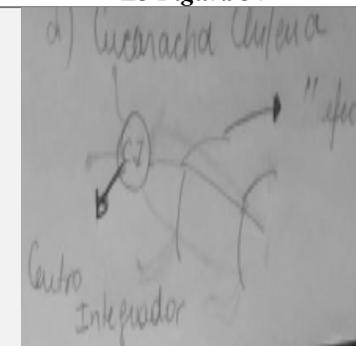
E3 Figura 34



E4 Figura 35



E5 Figura 36



E6 Figura 37

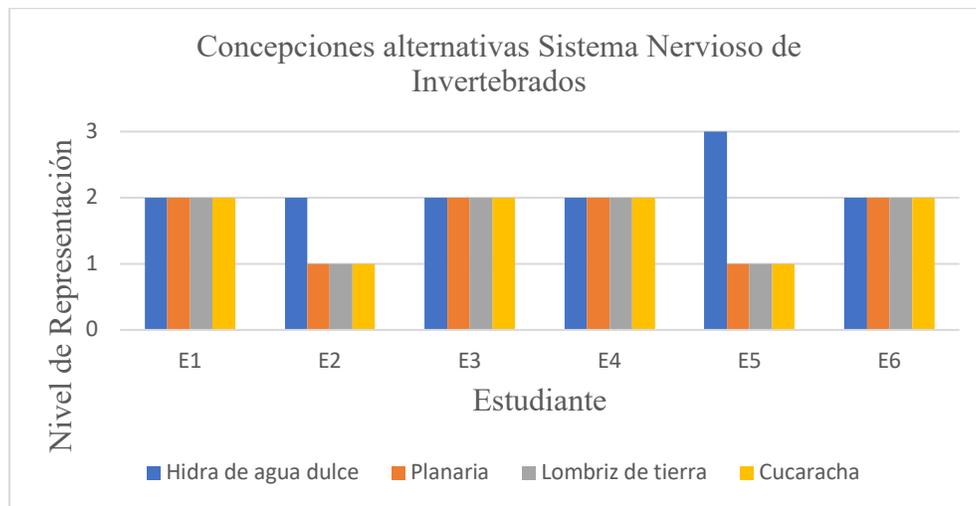
En cuanto a la figura 34, se identifica cerebro en la región anterior y nervios involucrados en el movimiento, pero no se hace mención de que tienen un cerebro dorsal y cordones nerviosos ventrales. En cuanto a la figura 35, el dibujo identifica el sistema nervioso central en la región anterior, nervios en la región media y ganglios en la posterior, sin embargo, se identifican concepciones alternativas, por cuanto, los ganglios se ubican en la región cefálica que constituyen un cerebro, cordones nerviosos ventrales y órganos sensitivos como ojos y antenas; además, de nervios laterales conectados con estructuras motoras como los músculos de las patas. Así mismo, la figura 37 identifica en la parte anterior un centro integrador y en el cuerpo del organismo efectores, pero se identifican concepciones alternativas, por cuanto, los ganglios se ubican en la región cefálica que constituyen un cerebro, también hay falta de estructuras que son claves en el funcionamiento de la respuesta refleja como ojos y antenas. Ningún estudiante queda clasificado en nivel de representación 3 de una cucaracha.

La tabla 15 resume los niveles de representación identificados en los dibujos del sistema nervioso de invertebrados realizados por los estudiantes.

Tabla 15. Dibujos sistema nervioso de invertebrados por estudiante (Elaboración propia)

Nivel de Representación	Hidra de agua dulce	Planaria	Lombriz de tierra	Cucaracha
Nivel 1	Ninguno	E2 y E5	E2 y E5	E2 y E5
Nivel 2	E1, E2, E3, E4 y E6	E1, E3, E4 y E6	E1, E3, E4 y E6	E1, E3, E4 y E6
Nivel 3	E5	Ninguno	Ninguno	Ninguno

En la figura 38 se observan debilidades porque gran parte de los estudiantes en estudio presenta concepciones alternativas en los niveles de representación 1 y 2. Sólo el estudiante (E5), dibuja de manera correcta neuronas y una red nerviosa en la hidra de agua dulce quedando en el nivel de representación 3.

**Figura 38.** Niveles de representación del sistema nervioso de invertebrados (Elaboración propia)

La figura 39 muestra los porcentajes de estudiantes por nivel de representación según los organismos invertebrados dibujados, lo que indica que gran parte de los estudiantes se ubican en el nivel de representación 2, seguido del nivel 1 y escasamente en el nivel 3.

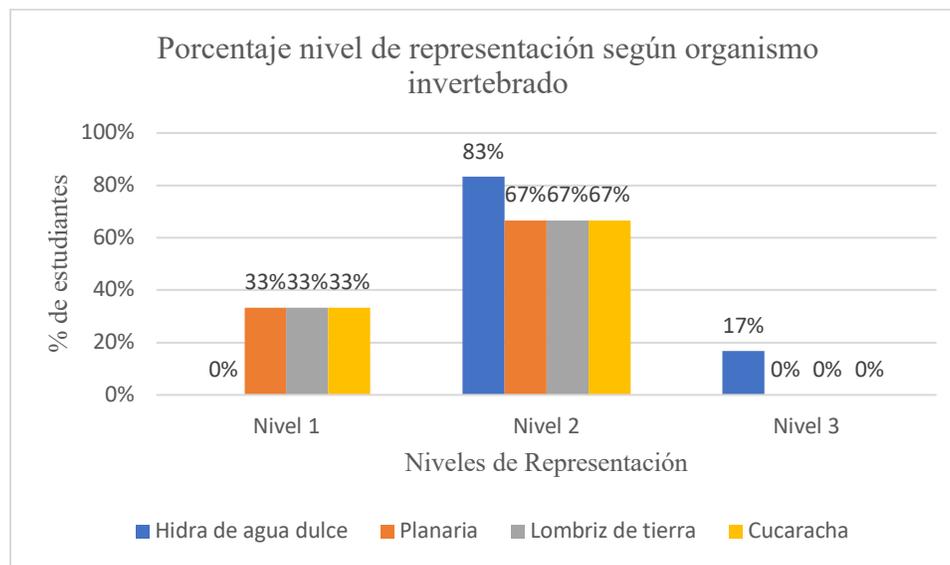


Figura 39. Nivel de representación según organismo invertebrado

Como una manera de poder superar las debilidades identificadas y mejorar el conocimiento inicial que tenían los estudiantes con respecto a los organismos invertebrados y la respuesta nerviosa, ellos pudieron comparar sus dibujos con imágenes de libros o de internet y en la sesión de trabajo complementar lo aprendido y manifestar sus dudas. Al consultar a los estudiantes si habían tenido alguna dificultad (es) para realizar los dibujos, en la tabla 16 se presenta un ejemplo de las respuestas de los estudiantes, las cuales dan cuenta que el 100% presentó dificultades.

Tabla 16. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Sistema nervioso de invertebrados	Ejemplos de respuestas de los estudiantes
	Sí, si tuve dificultades para realizar los dibujos; principalmente para imaginar la organización nerviosa de los dos primeros organismos y el nivel de complejidad que pueden tener (E1)
	Sí, no había visto estos contenidos, por lo que mis dibujos se limitaron a algo similar a lo que, si conozco, que es el sistema nervioso humano, cordal para el grupo platelmintos (E2)
	Sí, ya que no tenía conocimientos previos, sobre cómo era el sistema nervioso de un invertebrado, por lo tanto, fue difícil imaginarse y plasmar el sistema nervioso de estas especies (E3)
	Sí, me llevó tiempo realizar el esquema, ya que no me recordaba de la organización del sistema nervioso de los invertebrados, siendo mi principal dificultad la representación de los dibujos y el reconocimiento de las estructuras (E4)
	Sí, si los tuve, ya que no tenía el conocimiento sobre el sistema nervioso de los invertebrados, inclusive había invertebrados que no los conocía como la hidra de agua dulce, entonces poder imaginar el sistema nervioso fue mucho más difícil (E5)
	Sí, pues desconocía la complejidad de cada invertebrado. Por otro lado, no había revisado el contenido por bastante tiempo, por lo que había olvidado algunos de los conceptos claves que me permiten comprender el sistema nervioso (E6)

Al analizar la información de la tabla 15 y de acuerdo con lo señalado por los estudiantes, su modelo inicial y la presencia de concepciones alternativas en los dibujos es atribuible a la falta de conocimientos previos, el desconocimiento del sistema nervioso de invertebrados, la escasa apropiación de conceptos clave, el olvido de las estructuras que conforman un invertebrado y cómo se organizan, entre otras razones. Esta situación se resume en la figura 40.

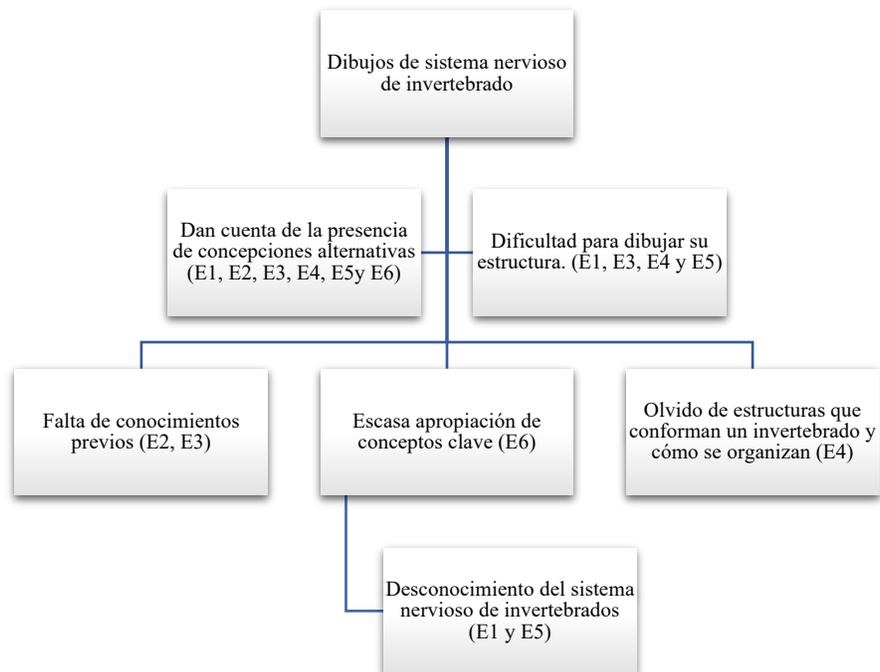


Figura 40. Análisis dibujos del sistema nervioso de invertebrados (Elaboración propia)

En cuanto a la organización del sistema nervioso de invertebrados, el 100% de los estudiantes manifiesta haber cambiado su percepción a partir del contraste que se hizo con imágenes e información aportada en la sesión de trabajo, en la tabla 17 se presenta un ejemplo de las respuestas de los estudiantes.

Tabla 17. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: SN de invertebrados	Ejemplos de respuestas de los estudiantes
	<p>Si cambié mi percepción sobre el SN en organismos invertebrados, si bien sabía que ellos presentaban una organización nerviosa que les permite interactuar con el medio, no sabía con exactitud la forma específica en la que se presentaba, además, pude establecer una relación entre la complejidad del SN y el proceso evolutivo de cada organismo (E1)</p> <p>Sí, porque había dibujado un encéfalo o estructura que funcionara como un centro integrador, pero esta no está presente en invertebrados, sino que existe organización del SN en red difusa para el grupo Cnidaria y ganglionar para anélidos y artrópodos (E2)</p>

Si cambio, ya que ahora sabemos, que los componentes que forman el SN de estos invertebrados son similares en función y estructura a los de un vertebrado, menos complejos que los vertebrados (E3)

Si, cambio bastante, ya que me resultó dificultoso realizar la actividad por no recordar o conocer la constitución nerviosa de los invertebrados. Además, en mis dibujos contrastados no mencioné las estructuras y cordones nerviosos, y si los realicé, estos fueron erróneos (E4)

Si, si cambió, porque ya sabemos cómo es la estructura que tienen los invertebrados, ya que es diferente a la de los vertebrados, de hecho, cuando se nos pidió dibujar el sistema de los invertebrados, yo de forma inconsciente fui colocando y distribuyendo las estructuras de acuerdo con cómo es el sistema en los vertebrados (E5)

Si, pues desconocía la complejidad de cada individuo presentado. Por otro lado, no he revisado el contenido por bastante tiempo, por lo que había olvidado algunos de los conceptos claves que me permiten comprender el SN y asociarlo correctamente con el ser vivo en cuestión (E6)

Si bien es cierto que el 100% de los estudiantes reconoce que cambió su percepción con respecto al sistema nervioso de invertebrados, para fortalecer el aprendizaje de los conceptos asociados con la respuesta nerviosa e ir superando las concepciones alternativas que se presentaron inicialmente, debieron definir red nerviosa, cordón y ganglio nervioso, en la tabla 18 se presenta un ejemplo de las respuestas de los estudiantes.

Tabla 18. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Red nerviosa	Ejemplos de definiciones dadas por los estudiantes
	Es un conjunto de neuronas interconectadas. (E1)
	Conjunto de neuronas interconectadas (E2)
	Conjunto de neuronas interconectadas (E3)
	Conjunto de neuronas conectadas mediante sus estructuras, dendritas, axones, entre otros (E4)
	Conjunto de neuronas interconectadas (E5)
	Complejo que forma un conjunto de neuronas (E6)
Código: Cordón nervioso	
	Implica una organización completamente diferente, en la cual los somas y axones se encuentran en una misma estructura dispuestos como en una cuerda (E1)
	Agrupación de axones de neuronas (E2)
	Corresponde a la médula espinal, por lo tanto, es la conducción de nervios (E3)
	Fibras nerviosas formadas por axones (E4)
	Es la médula espinal, por donde se conducen los nervios (E5)
	Hace alusión al “haz” de fibras nerviosas, por ejemplo: médula espinal. (E6)
Código: Ganglio nervioso	
	Corresponde a una estructura que, evolutivamente hablando, es más reciente y solo comprende somas neuronales (E1)
	Agrupación de somas neuronales (E2)
	Agrupación de los cuerpos neuronales (E3)
	Conjunto de cuerpos neuronales (soma), ubicado fuera del SNC (E4)
	Agrupación de los cuerpos neuronales (E5)

Corresponde al lugar físico donde encontramos neuronas fuera del SNC (E6)

Las definiciones dadas por los estudiantes permiten observar que hubo mejoras después de las primeras tareas realizadas, la figura 41 muestra que el 100% no presenta concepciones alternativas en la definición de red nerviosa, 50% y 67% de los estudiantes no presenta concepciones alternativas en la definición de cordón y ganglio nervioso. Sin embargo, el análisis realizado muestra que vuelven a emerger concepciones alternativas asociadas a errores conceptuales, un 50% y 33% las presenta al definir cordón y ganglio nervioso.

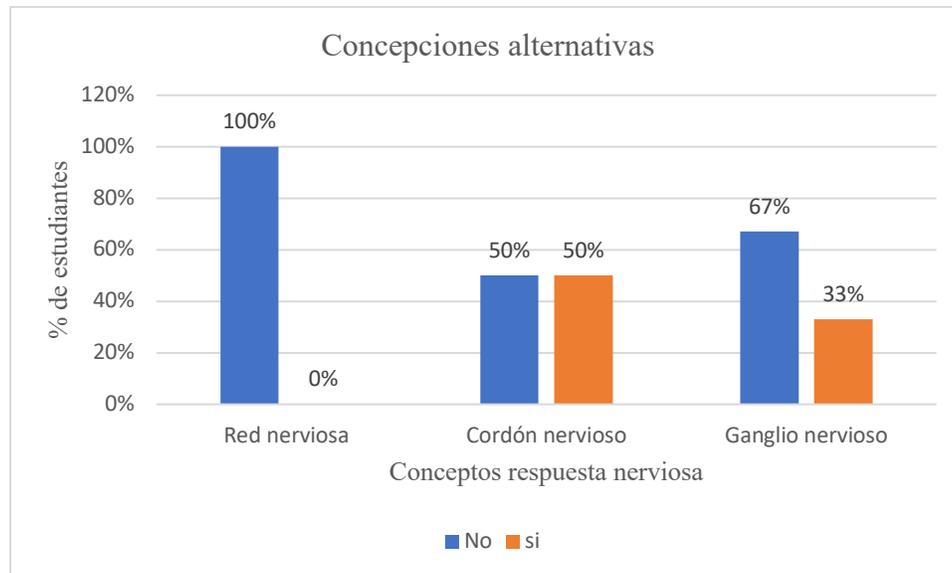


Figura 41. Concepciones alternativas sobre conceptos de respuesta nerviosa.

La red conceptual representada en la figura 42, muestra que los estudiantes en su definición de cordón nervioso presentan nuevamente concepciones alternativas. Por ejemplo, E3 señala que “Corresponde a la médula espinal, por lo tanto, es la conducción de nervios”, E5 “Es la médula espinal, por donde se conducen los nervios” y E6 “Hace alusión al “haz” de fibras nerviosas, por ejemplo: médula espinal”. En cuanto a la definición de ganglio nervioso, los estudiantes E4 y E6 presentan concepciones alternativas, por cuanto, señalan “Conjunto de cuerpos neuronales (soma), ubicado fuera del SNC” y “Corresponde al lugar físico donde encontramos neuronas fuera del SNC”.

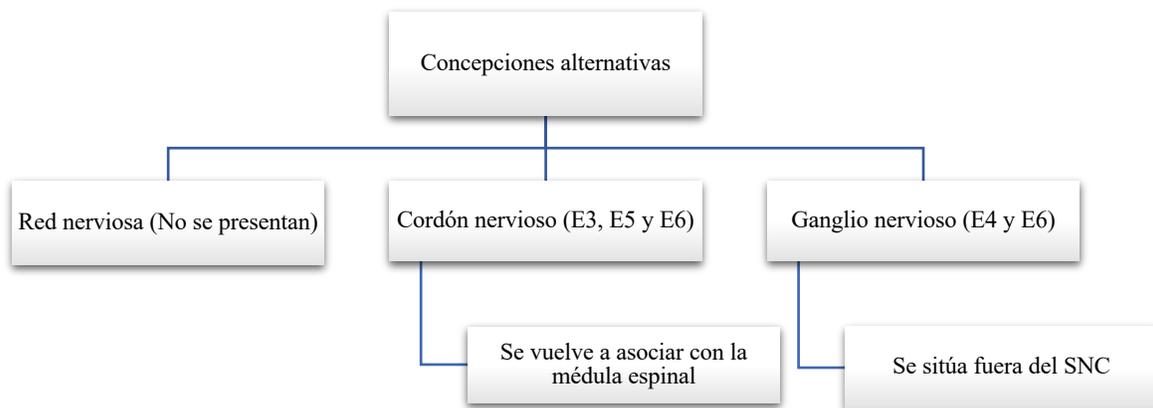


Figura 42. Análisis concepciones alternativas asociadas a conceptos (Elaboración propia)

Para fortalecer los procesos en los estudiantes y lograr a través de indagación científica una mejor comprensión acerca de los conceptos de la respuesta nerviosa, los estudiantes debieron complementar lo aprendido en cuanto al sistema nervioso de invertebrados con la observación de imágenes del sistema nervioso de vertebrados y señalar sus diferencias anatómicas y funcionales, para ello pudieron complementar sus respuestas con información obtenida de internet, en la tabla 19 se presenta un ejemplo de las respuestas de los estudiantes.

Tabla 19. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Sistema nervioso de invertebrados y vertebrados	Ejemplos en cuanto a diferencias entre SN de invertebrados y vertebrados
	La diferencia entre el SN de vertebrados e invertebrados radica en el tamaño y complejidad de la organización anatómica y celular. Esto a su vez se asocia con la complejidad de las funciones desarrolladas, pero que de igual forma mantienen las funciones básicas o primitivas (E1)
	La principal diferencia es que en vertebrados se observa el desarrollo de un encéfalo que funciona como centro de control, a diferencia de invertebrados en que se observan agrupaciones primitivas de ganglios que se asemejan a un cerebro (E2)
	Los vertebrados poseen un SN de posición dorsal constituido por el encéfalo alojado en la cavidad craneana y la médula espinal ubicada dentro de la columna vertebral. El SN de invertebrados es de posición ventral y está constituido por una red de ganglios cerebroides dispuestos a los costados del cuerpo (E3)
	Las diferencias anatómicas que se pueden observar son en la constitución y distribución de las estructuras nerviosas. Desde los invertebrados a los vertebrados, hay diferencias en cuanto al nivel de desarrollo de los organismos, es decir, mientras mayor es el nivel de evolución y desarrollo de la especie, mayor es el grado de progreso que presentará el SN del organismo. (E4)
	Las diferencias anatómicas que presentan los vertebrados con los invertebrados es que en los vertebrados tienen un S.N con una posición dorsal compuesto por el encéfalo alojado en el cráneo y la médula espinal situada al interior de la columna vertebral, en cambio los invertebrados su S.N se encuentra con una posición ventral, constituido por una red de ganglios cerebroides ubicados a los lados del cuerpo (E5)

Las diferencias del SN entre invertebrados y vertebrados se basan en el número de neuronas totales, donde los mamíferos, llegan al orden del 10^{11} y en invertebrados del orden de 10^8 neuronas totales, como los cefalópodos, en vertebrados encontramos un gran centro integrador que los invertebrados no poseen. (E6)

De acuerdo con la información de la tabla 18, el 100% de los estudiantes logra una clara diferenciación entre el sistema nervioso de invertebrados respecto de los vertebrados. Sin embargo, en sus respuestas no se menciona la importancia de los órganos de los sentidos, por ejemplo: ojos o antenas en cucarachas, los cuales son receptores sensoriales especializados para la respuesta nerviosa. Lo mencionado es un elemento que merece atención y debe ser fortalecido, por cuanto permite superar concepciones alternativas identificadas por González y Tamayo (2000) tales como: la confusión que se produce entre el concepto de receptor y órgano de los sentidos o donde los estudiantes no suelen considerar las relaciones entre el sistema nervioso central y los órganos receptores.

A modo de ejemplo, en la tabla 20 se sistematizan las principales ideas y respuestas de los estudiantes en cuanto a establecer diferencias entre receptores sensoriales en animales y el ser humano.

Tabla 20. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Receptor sensorial	Ejemplos en cuanto a diferencias en animales y el ser humano
	Ubicados en órganos específicos y poseen una conformación celular-anatómica especializada para cada tipo de estímulo (E1)
	En animales excitables y específicos, en el ser humano son excitables y específicos para cada tipo de estímulo (E2)
	En organismos como insectos se ubican en antenas, ojos, son muy específicos al igual que en vertebrados se especializan por ejemplo en la mano tenemos receptores para el dolor. (E3)
	Formado por células especializadas capaces de percibir determinados estímulos en animales, en el ser humano formada por terminaciones nerviosas ubicadas en órgano sensoriales, y en órganos internos, capaces de captar estímulos internos y externos (E4)
	En los invertebrados se ubican en las antenas y en la boca. Los termorreceptores son células especializadas de la piel (E5)
	Altamente especializados en una sola región del individuo en animales, en el ser humano especializados, algunos en una sola región y otras en una gran extensión (E6)

Al comparar la información con la tarea anterior, se evidencia que el 100% de los estudiantes establece diferencias entre receptores sensoriales en animales y el ser humano. Sin embargo, sólo el 33,3% de los estudiantes (E3 y E5) da cuenta que los invertebrados poseen receptores sensoriales ubicados en antenas, ojos, boca.

En cuanto a las adaptaciones funcionales y como una forma de relacionar e integrar los conceptos anteriores, los estudiantes debieron establecer una relación entre la complejidad del sistema nervioso y su modo de vida. Al respecto, en la tabla 21 se resumen las respuestas de los

estudiantes, las cuales en un 100% dan cuenta que han establecido relaciones e integrado los conceptos aprendidos sobre la respuesta nerviosa para fundamentar sus respuestas.

Tabla 21. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Adaptación funcional	Ejemplos de la relación entre la complejidad del sistema nervioso y el modo de vida en los animales
	La conducta o modo de vida está condicionado por la interacción entre el individuo y las condiciones fluctuantes de su medio ambiente; al mismo tiempo esta conducta, ha sido perfeccionada a lo largo del tiempo mediante cambios fisiológicos, anatómicos y especializaciones que le permitan sobrevivir en su medio (E1)
	Si se relacionan debido a que a través del tiempo y la evolución los organismos se fueron haciendo más complejos, por ejemplo, pasamos de tener neuronas simples a multipolares, el ser humano, realiza funciones especializadas y posee un SN mucho más complejo que una hidra o una planaria. (E2)
	Si se relacionan, porque el modo de vida de los animales depende de sus adaptaciones funcionales, el SN se fue complejizando a través del tiempo, por ejemplo, la hidra no tiene órganos de los sentidos, pero si posee respuesta refleja, los humanos respondemos a estímulos del medio externo (E3)
	Si, existe una relación de acuerdo con la complejidad y según el modo de vida de los organismos. Esto, se logró observar en la actividad realizada, en la cual según el nivel de desarrollo o evolución de los organismos este presentará un sistema nervioso más desarrollado. (E4)
	Si, si existe, ya que, dependiendo de la organización del sistema nervioso, los organismos se pueden mover o capturar sus alimentos. Uno de los S.N más simples de los animales lo presenta la hidra de agua dulce ya que corresponde a una red nerviosa que está dispersa en todo el organismo (E5)
	El SN ha evolucionado para transformar estas señales en nuevos conceptos y no sólo actuar ante el calor o dolor, donde las estructuras del centro integrador son altamente especializadas, con delegación de las tareas entre el SNC y SNP (E6)

En coherencia con la categoría conceptual, la **categoría estructural** fue analizada a partir del desarrollo de la segunda actividad del ciclo indagatorio en etapa de exploración “Percibiendo los olores”, la cual consta de una serie de tareas individuales y en colaboración asociadas con la guía de aprendizaje 2 (Ver anexo 3), cuyo objetivo persigue el avance hacia un modelo intermedio, donde los estudiantes expliquen la importancia que tiene el encéfalo “nasal” en la percepción de los olores y para ello se define como subcategoría de análisis el aprendizaje de la respuesta nerviosa.

A modo de ejemplo, en la tabla 22 se resumen las principales ideas y respuestas dadas por los estudiantes en cuanto a la capacidad que tenemos los seres humanos de poder percibir los olores.

Tabla 22. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Percepción del olor	Ejemplos de respuestas de los estudiantes
	Se debe a que las sustancias químicas captadas generan cambios en los canales iónicos de la membrana de las células nerviosas que componen los receptores olfatorios, lo cual

genera un impulso nervioso que viaja a estructuras superiores donde es procesada la información. (E1)

A que contamos con células nerviosas olfatorias en las fosas nasales que permiten captar estímulos que son llevados al bulbo olfatorio y luego al cerebro donde se interpreta la información (E2)

Se debe a receptores que perciben partículas o moléculas de olor, se encuentran en la cavidad nasal, donde luego esta información viaja hasta llegar al cerebro donde es procesado(E3)

Los receptores captan sustancias químicas que se encuentran en el aire, al ingresar a las fosas nasales, generan una recepción de las moléculas, a su vez se realiza la comunicación entre las neuronas ubicadas en los receptores y bulbo olfatorio, siendo este último responsable de comunicarse con las siguientes neuronas hasta el SNC (E4)

A que los seres humanos podemos percibir los olores gracias a las neuronas sensoriales olfatorias que se encuentran en la parte superior de la nariz. Estas neuronas se conectan directamente al cerebro y cada uno tiene un receptor olfatorio (E5)

Obtenemos la capacidad de poder percibir los olores gracias a los receptores químicos de nuestra nariz, los que son traducidos o interpretados por una zona de nuestro cerebro y convertidos en impulsos nerviosos. (E6)

De acuerdo con las respuestas dadas por los estudiantes sobre la percepción del olor, en la figura 43 se observa que un 66,6% identifica a las neuronas olfatorias (E1, E2, E4 y E5), un 33,3% identifica receptor sensorial (E3 y E6), un 83,3% la presencia de sustancias químicas (E1, E2, E3, E4 y E6) y el 100% de los estudiantes establece una relación con estructuras del sistema nervioso (E1, E2, E3, E4, E5 y E6).

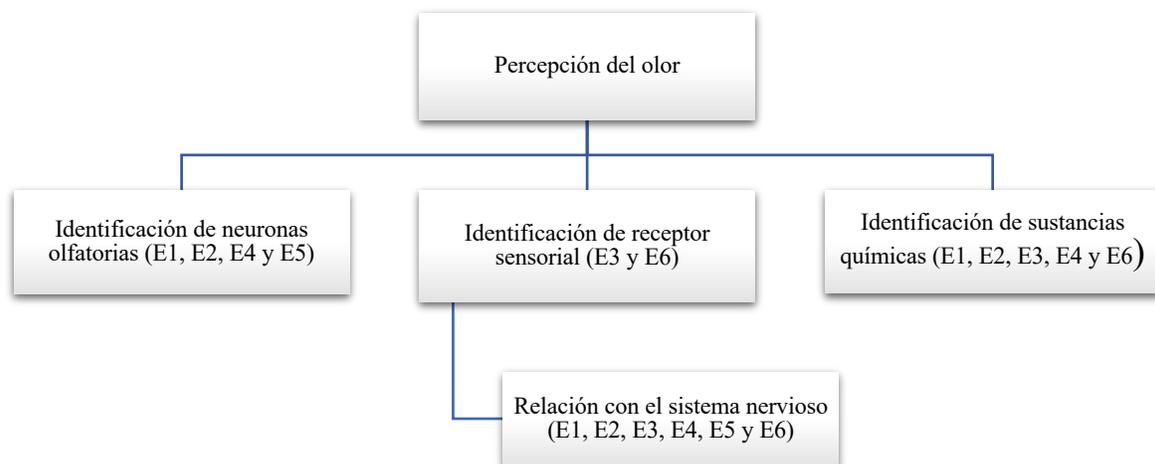


Figura 43. Análisis acerca de la percepción del olor (Elaboración propia)

En la figura 44 se observa el sentido del olfato, se solicitó a los estudiantes señalar estructuras donde es posible encontrar neuronas olfatorias, en un primer momento presentaron muchas dificultades para identificarlas, existiendo disparidad en sus respuestas, situación que pudo ser mejorada a partir de la comparación de respuestas entre compañeros, información que se resume en la tabla 23.

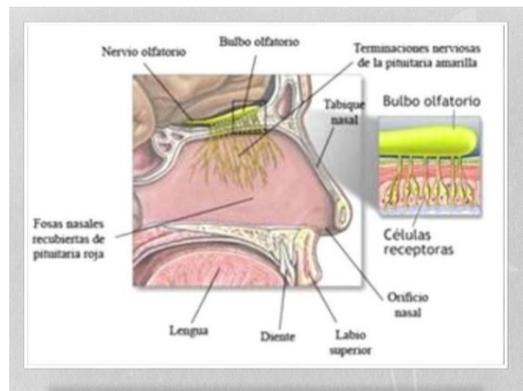


Figura 44. Sentido del olfato (Fuente: <https://www.pinterest.cl/>)

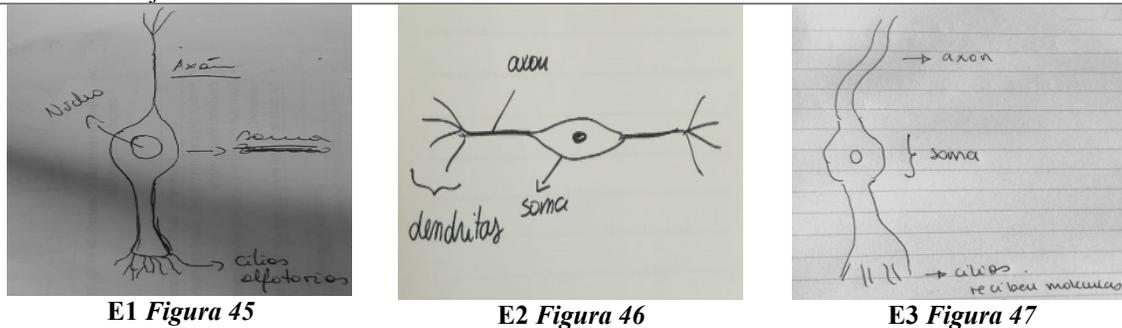
Tabla 23. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Neuronas olfatorias	Ejemplos de estructuras donde hay neuronas olfatorias
	Nervio olfatorio, bulbo olfatorio y células receptoras (E1)
	Bulbo olfatorio, orificio nasal, nervio olfatorio, terminaciones nerviosas de la pituitaria amarilla y tabique nasal. (E2)
	Cavidad nasal, bulbo olfatorio, nervio olfatorio y terminaciones nerviosas (E3)
	Bulbo olfatorio, nervio olfatorio, mucosa olfatoria, encéfalo, epitelio y corteza olfatoria (E4)
	Cavidad nasal, bulbo olfatorio, nervio olfatorio y terminales nerviosas (E5)
	Bulbo olfatorio, células receptoras, fosas nasales recubiertas y nervio olfatorio (E6)

Como una forma de articular lo conceptual con lo estructural, los estudiantes debieron realizar en una hoja en blanco un dibujo sobre la estructura de una neurona olfatoria, teniendo a la base que son neuronas bipolares pequeñas derivadas del SNC, poseen una dendrita expuesta y un axón que se proyecta por la lámina cribosa y termina en el bulbo olfatorio (Barret, Barman, Boitano y Brooks, 2013).

La tabla 24 muestra los dibujos de los estudiantes, los que fueron analizados considerando las estructuras de una neurona olfatoria tipo.

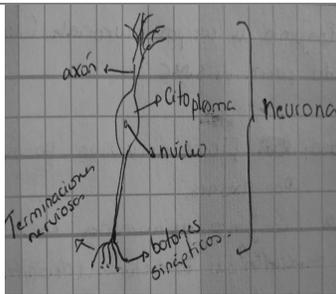
Tabla 24. Dibujos de los estudiantes sobre neurona olfatoria



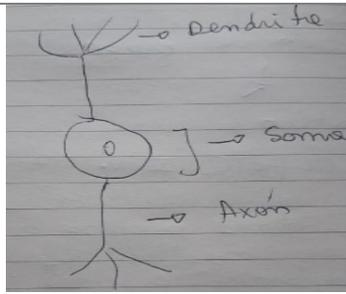
E1 Figura 45

E2 Figura 46

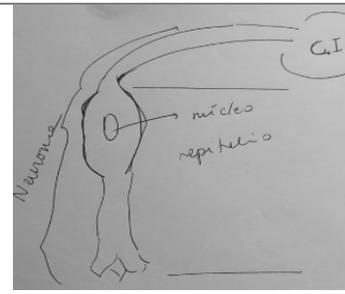
E3 Figura 47



E4 Figura 48



E5 Figura 49



E6 Figura 50

En términos generales, no se identifican concepciones alternativas asociadas a los dibujos de los estudiantes, sin embargo, sólo el 33,3% de ellos (E2 y E5) en las figuras 46 y 49, reconocen las estructuras que forman parte de una neurona olfatoria: axón, soma y dendritas. En cuanto a las figuras 45 y 47 identifican axón, soma y cilios olfatorios que reciben información, pero no a las dendritas, similar situación es lo representado en la figura 48, el dibujo incluye axón, núcleo, citoplasma, terminaciones nerviosas y botones sinápticos (estructuras que son parte del axón), pero sin identificar a las dendritas. La figura 50 muestra escasa apropiación, por cuanto sólo incluye el núcleo al centro, pero no se reconoce estructuralmente el soma, dendritas y axón.

Al preguntar a los estudiantes si habían tenido alguna dificultad (es) para realizar el dibujo, el 100% señala no haber tenido dificultad y conocer su estructura, sin embargo, sólo 2 estudiantes identifican correctamente axón, soma y dendritas. Por otro lado, un estudiante (E4), la identifica incorrectamente como neurona unipolar, situación que fue pesquisada y retroalimentada, información que se resume en la tabla 25.

Tabla 25. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Neuronas olfatorias	Ejemplos de respuestas en cuanto a dificultad para realizar dibujo de neuronas olfatorias
	No, porque tenía una base para imaginar su estructura (E1)
	No tuve dificultad porque recordaba bien la estructura (E2)
	No, ya que tenía conocimiento de cómo era una neurona olfatoria (E3)
	No tuve complicaciones, me costó recordar si era una neurona multipolar o unipolar, pero luego, llegué a la conclusión de que era la neurona unipolar (E4)
	No, ya que tenía el conocimiento previo de cómo era una estructura olfatoria (E5)
	No tuve dificultad para realizar el dibujo, puesto que con los conocimientos que tenía, me permitieron esbozar una idea rápidamente (E6)

Con respecto al sentido del olfato y a modo de reflexión por parte de los estudiantes, en la tabla 26 se exponen las principales ideas, importancia y diferencia estructural entre epitelio, nervio y bulbo olfatorio, estructuras que son clave para ir avanzando hacia un modelo de construcción intermedio de la respuesta nerviosa.

Tabla 26. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Estructuras olfatorias	Ejemplos de respuestas acerca de diferencias estructurales entre epitelio, nervio y bulbo olfatorio
	El epitelio olfatorio contiene células receptoras y de sostén, las cuales, conforman el recubrimiento interno de la cavidad nasal. El bulbo olfatorio, es donde se genera la primera sinapsis, entre la neurona primaria y secundaria. El nervio olfatorio, compuesto por los axones primarios (neurona receptora) y las neuronas secundarias, permite la conducción de la información hasta la corteza olfatoria (E1)
	El epitelio olfatorio está en la parte superior de la cavidad nasal y tiene neuronas olfativas, células de apoyo, basales y en cepillo. Es importante porque es la zona encargada de detectar olores. Los axones de las neuronas olfativas del epitelio son las que forman el nervio olfatorio, que lleva la información en impulsos nerviosos hasta el SNC. El bulbo olfatorio recibe esta información y la envía a centros superiores. (E2)
	El Bulbo olfatorio: dirige la información a estructuras superiores, el nervio olfatorio: conduce la información y el epitelio olfatorio: aquí se encuentran las neuronas olfatorias que reciben las moléculas (E3)
	El epitelio olfatorio es un tejido en el cual se encuentran estructuras olfatorias, tales como terminaciones neuronales (neuronas primarias) y glándulas (células de sostén, células olfatorias en desarrollo, células basales), el bulbo olfatorio es una estructura nerviosa (neuronas sensitivas secundarias) ajena al epitelio, compuesto de neuronas. El nervio olfatorio, corresponde a un conjunto de neuronas que conducen información hacia el SNC. (E4)
	El Bulbo olfatorio: dirige la información, el nervio olfatorio: conduce la información y en el epitelio olfatorio: Se encuentran las neuronas olfatorias que se encargan de recibir las moléculas (E5)
	El epitelio olfatorio es el encargado de detectar los olores y recibe directamente los estímulos químicos. El bulbo olfatorio, es la estructura donde podemos encontrar el epitelio olfatorio. El nervio olfatorio se encarga de conducir los impulsos nerviosos producidos en la nariz hacia el SNC. (E6)

De acuerdo con las respuestas esperadas, el 100% de los estudiantes da cuenta de la diferencia estructural entre epitelio, nervio y bulbo olfatorio, esta información pudo ser complementada con uso de internet o textos universitarios. Sin embargo, en otra tarea donde se les solicitó a los estudiantes observar la figura 51 del sentido del olfato y que identificaran las estructuras presentaron mayores dificultades.

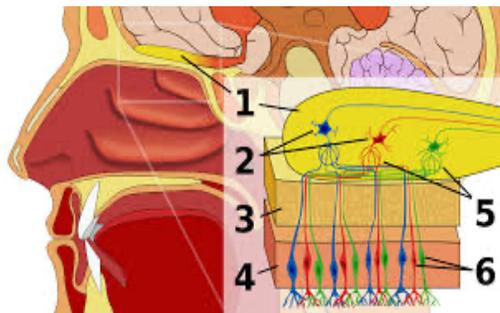


Figura 51. Sentido del olfato (Fuente: <https://www.pinterest.cl/>)

Los estudiantes al compartir sus respuestas pudieron completar lo solicitado, el 83,3% lo hace de manera correcta, sin embargo, el 16,6% correspondiente a una estudiante (E4)

presenta errores de identificación en casi la totalidad de las estructuras pese a haber realizado una clara distinción entre epitelio, nervio y bulbo olfatorio, esta situación fue reforzada y se puede advertir en la tabla 27.

Tabla 27. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Estructuras olfatorias	Ejemplos de respuestas en cuanto a la identificación de estructuras del sentido del olfato
	1. Bulbo olfatorio, 2. Células mitrales, 3. Hueso etmoides, 4. Epitelio nasal, 5. Glomérulos y 6. Células receptoras (E1)
	1. Bulbo olfatorio, 2. Células mitrales, 3. Hueso, 4. Epitelio nasal, 5. Glomérulos y 6. Células receptoras olfativas (E2)
	1. Bulbo olfatorio, 2. Somas de nervios, 3. Hueso, 4. Epitelio, 5. Conexión de células olfativas con neuronas, glomérulos y 6. Soma neuronal de célula olfatoria (E3)
	1. Bulbo olfatorio, 2. Nervio olfatorio, 3. Mucosa olfatoria, 4. Encéfalo, 5. Epitelio olfatorio y 6. Corteza olfatoria (E4)
	1. Bulbo olfatorio, 2. Somas de nervios, 3. Hueso, 4. Epitelio, 5. Conexión de células olfativas con neuronas, glomérulos y 6. Soma neuronal de célula olfatoria (E5)
	1. Bulbo olfatorio, 2. Células mitrales, 3. Hueso, 4. Epitelio olfatorio o nasal, 5. Glomérulos y 6. Células receptoras olfativas (E6)

Con la finalidad de potenciar el desarrollo de habilidades y actitudes científicas asociadas a la indagación científica y para dar cumplimiento a los indicadores comprometidos, se plantea un desafío para los estudiantes que consiste en completar una tabla según sus conocimientos con características y ejemplos de sustancias acerca de tipos de olores (fragante o floral, leñoso o resinoso, frutal (no cítrico), químico, mentolado o refrescante, dulce, quemado o ahumado, cítrico, podrido y acre o rancio. Se les señala que aquello que fuera desconocido lo pueden complementar con respuestas de sus compañeros o con la utilización de internet. En términos generales, la totalidad de los estudiantes presenta la tabla muy completa y señalan diferentes características y ejemplos para cada tipo de olor debido a que pudieron complementar la información con la utilización de otras fuentes. Al preguntarles ¿Pudiste identificar los distintos tipos de olores? ¿Cambió tu conocimiento inicial a partir de la búsqueda de información? ¿Por qué?, la información recabada es sistematizada en la tabla 28.

Tabla 28. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Tipo de olor	Ejemplos de respuestas de los estudiantes
	Si, si pude identificar los diferentes tipos de olores, gracias a la búsqueda de información pude precisar algunas características químicas de algunos olores, y así entender sus diferencias (E1)
	Si los pude identificar y cambió mi conocimiento porque, aunque eran olores que conocía, no les había asignado un nombre específico o una clasificación. (E2)
	Si, ya que, al pensar en un olor, se recuerda a cosas. Como por ejemplo el leñoso o resinoso, recuerda al pino un olor resinoso (E3)
	Se logró identificar diferentes tipos de olores, generando cambios en la percepción que se tenía al principio. Al buscar información, se logró describir las propiedades y características de los olores. (E4)

Si, pude identificar los distintos olores, ya que, al sentir un olor, este nos lleva a recordar algún objeto, momentos de nuestras vidas, algunas comidas. (E5)

Pude identificar como se clasifican los olores, pero no cambió mi percepción inicial luego de esta búsqueda. Si bien no sabía cómo clasificarlos (desconocía el nombre teórico), si sabía que existían muchos tipos de olores (E6)

La información obtenida da cuenta que el 83,3% de los estudiantes menciona que cambió su conocimiento inicial o fue complementado a partir de la búsqueda de información, sólo un estudiante (E6) señala no haber cambiado esa percepción lo que corresponde a un 16,6%. En cuanto a este aspecto, se observa un avance significativo hacia un modelo intermedio que les permite un proceso más comprensivo sobre la importancia que tiene el encéfalo “nasal” en la percepción de los olores, debido a que son capaces de explicar la capacidad que tenemos los seres humanos de poder percibir los olores, clasificarlos y diferenciarlos. Para complementar y como cierre de la sesión de trabajo, los estudiantes en grupos de 3 estudiantes realizaron un desafío grupal, que consistió en diseñar una experiencia para estudiar el efecto de la concentración de sustancias en la percepción de los olores. Para evaluar las respuestas de los estudiantes, se utilizó una matriz de análisis que incluye los conceptos L (logrado), ML (medianamente logrado) y NL (no logrado) que se resume en la tabla 29.

Tabla 29. Matriz de análisis diseño de experiencia para estudiar el efecto de la concentración de sustancias en la percepción de los olores (Elaboración propia).

Indicador de evaluación	Logrado (L)	Medianamente logrado (ML)	No logrado (NL)
Formulan una pregunta de investigación para el diseño experimental.	El grupo formula de manera correcta una pregunta de investigación para el diseño experimental.	El grupo formula una pregunta de investigación para el diseño experimental, pero presenta algunas imprecisiones.	El grupo no formula una pregunta de investigación para el diseño experimental o lo hacen de manera incorrecta.
Plantean una hipótesis para estudiar el efecto de la concentración de sustancias en la percepción de los olores.	El grupo plantea de manera correcta una hipótesis para estudiar el efecto de la concentración de sustancias en la percepción de los olores.	El grupo plantea una hipótesis para estudiar el efecto de la concentración de sustancias en la percepción de los olores, pero presenta algunas imprecisiones.	El grupo no plantea una hipótesis para estudiar el efecto de la concentración de sustancias en la percepción de los olores o lo hacen de manera incorrecta.
Diseñan un experimento que permita explicar cómo ocurre la percepción de los olores, en menor o mayor intensidad.	El grupo diseña de manera consistente un experimento que permite explicar cómo ocurre la percepción de los olores, en menor o mayor intensidad.	El grupo diseña un experimento, pero parcialmente explican cómo ocurre la percepción de los olores, en menor o mayor intensidad.	El grupo no diseña un experimento que permita explicar cómo ocurre la percepción de los olores, en menor o mayor intensidad; o lo hacen de manera incorrecta.
Integran el conocimiento adquirido en un modelo que explique el efecto que tiene la	El grupo integra de manera consistente el conocimiento adquirido en un modelo que	El grupo integra de manera parcial el conocimiento adquirido en un modelo que	El grupo no integra el conocimiento adquirido en un modelo que explique el efecto que

concentración de sustancias en la percepción de los olores.	explique el efecto que tiene la concentración de sustancias en la percepción de los olores	explique el efecto que tiene la concentración de sustancias en la percepción de los olores.	tiene la concentración de sustancias en la percepción de los olores o lo hacen de manera incorrecta.
Sintetizan las principales ideas, discuten y analizan el proceso involucrado en la percepción del olor.	El grupo sintetiza de manera consistente las principales ideas, discuten y analizan el proceso involucrado en la percepción del olor.	El grupo sintetiza de manera parcial algunas ideas, discuten y analizan el proceso involucrado en la percepción del olor con algunas imprecisiones.	El grupo no sintetiza las principales ideas, no discuten ni analizan el proceso involucrado en la percepción del olor o lo hacen de manera incorrecta.

En la tabla 30 se muestra un ejemplo de las respuestas por grupo de estudiantes sobre una tarea asociada a un diseño experimental acerca de la percepción de los olores.

Tabla 30. Ejemplo de respuestas sobre diseño experimental acerca de la percepción de los olores.

Tarea	Grupo 1 E1, E2 y E6	Grupo 2 E3, E4 y E5
Pregunta de investigación	¿Cómo sé que me eché mucho o poco perfume?	¿Cuál es el olor predominante en la mezcla de sustancias?
Planteamiento de hipótesis	A mayor concentración de las sustancias, mayor será su percepción; y a menor concentración, menor será su percepción.	Al mezclar las diversas sustancias el olor que predominará será el más fuerte por sobre el menos fuerte.
Diseño de experimento	Se dispondrán cuatro tubos de ensayos con tapas por cada una de las sustancias, en cada uno de ellos agregarán un mismo volumen de disolvente con ayuda de una pipeta. Después, deberán establecer la forma en que medirán la concentración de cada sustancia, esto en función del elemento que posea la sustancia.	Se les tapaná los ojos a los estudiantes, luego olerán diferentes sustancias, un cítrico, mentolado, dulce, resinoso y podrido, tendrán que indicar a qué olor corresponde y qué sustancia predomina en intensidad de olor. Posteriormente, se mezclarán todas las sustancias y se les pide a los individuos que sientan el olor de la nueva sustancia mezclada y la identifiquen.
Modelo explicativo	La percepción y sensación de los estímulos está dado por los “estímulos umbrales” y la “ley del todo o nada”; y por la relación entre la concentración y la percepción del olor obtenida.	La percepción del olfato involucra la relación entre la concentración de un olor y la intensidad percibida y sigue una distribución logarítmica común, al igual que la de otros sistemas sensoriales.
Síntesis principales ideas	En los seres humanos el olfato es un sentido muy desarrollado, si bien es cierto que en los perros o los felinos tienen un desarrollo superior, para los humanos la percepción de los olores y el sentido del olfato es fundamental, porque podemos distinguir entre miles de aromas diferentes.	La percepción del olor puede variar según la intensidad de este, la concentración del olor, para ser percibido debe pasar por un umbral de intensidad. Por lo tanto, la percepción de los aromas es la capacidad del ser humano y de otros animales para captar y diferenciar olores.

En la tabla 31 se resume la valoración obtenida en cuanto al análisis de las respuestas de los grupos de trabajo en 5 aspectos considerados en la tarea realizada.

Tabla 31. Valoración de las respuestas diseño experimental

Grupo	Tarea				
	1	2	3	4	5
Grupo 1 E1, E2 y E6	L	L	L	L	L
Grupo 2 E3, E4 y E5	L	L	L	L	L
%	100% L				

A modo de resumen de la categoría de análisis estructural, el 100% de los estudiantes a partir de las 5 tareas desarrolladas pudieron integrar de mejor forma los conceptos aprendidos anteriormente y en esta etapa de exploración desarrollar un modelo intermedio y explicativo acerca del proceso involucrado en la percepción del olor. En cuanto a los indicadores de evaluación comprometidos, los estudiantes pudieron explicar la transformación de la información del entorno en un mensaje electroquímico por acción de un receptor sensorial, como así mismo, explicar un proceso y fenómeno, apoyándose en teorías y conceptos científicos en estudio. Se integra el conocimiento adquirido en un modelo, donde los estudiantes comparten sus respuestas y elaboran conclusiones.

En correspondencia con las categorías conceptual y estructural analizadas anteriormente, la **categoría funcional** se analiza a partir del desarrollo de la tercera actividad del ciclo indagatorio en etapa de reflexión “Reparando la Médula Espinal: Funcionalidad e importancia”, la cual consta de una serie de tareas individuales y en colaboración asociadas con la guía de aprendizaje 3 (Ver anexo 3), cuyo objetivo persigue el avance hacia un modelo intermedio, donde los estudiantes expliquen la importancia y el rol de la médula espinal en la conducción de la información sensitiva y motora desde y hacia el encéfalo; y su función como centro elaborador de respuestas reflejas. Además, de que analicen las características de las divisiones simpática, parasimpática y visceral del sistema nervioso autónomo para la homeostasis del organismo y respuesta de adaptación ante cambios del medio ambiente externo e interno. Se define como subcategoría de análisis las estrategias de enseñanza.

Se solicitó a los estudiantes que individualmente observaran la figura 52 e identificaran el tipo de neurona y sus estructuras. Esta tarea presentó dificultades, por cuanto, sólo un 33,3% de los estudiantes (E1 y E2) identifican correctamente la neurona motora y lo indicado en los números, un 66,6% de los estudiantes (E3, E4, E5 y E6) no identifican la neurona motora y escasamente reconocen lo indicado en los números.

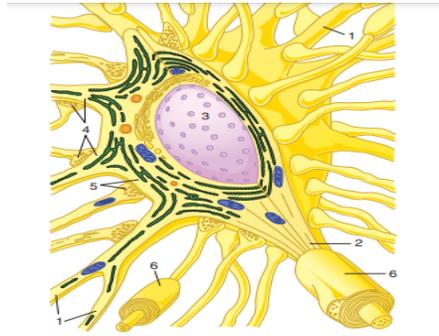


Figura 52. Neurona motora (Fuente: <https://www.pinterest.cl/>)

A partir de lo evidenciado anteriormente, se reforzó el conocimiento de la estructura de una neurona motora y se complementó la sesión de trabajo con una presentación que contenía diversas imágenes de tipos de neuronas motoras, donde los estudiantes pudieron mejorar sus conocimientos iniciales. Pese a tener dificultades para su identificación, el 100% de los estudiantes explica de manera correcta su función y establece una relación con la médula espinal al usar internet e intercambiar sus respuestas con los compañeros, lo que se resume en la tabla 32.

Tabla 32. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Neurona motora	Ejemplos de respuestas en cuanto a la función y relación con la médula espinal
	Las neuronas motoras transmiten la respuesta generada en estructuras superiores hasta el órgano ejecutor, la respuesta es recibida por las dendritas, y luego viaja por el axón que constituye los nervios emergentes de la médula espinal. (E1)
	Las neuronas motoras permiten efectuar la respuesta, llegando a una glándula o un músculo. La relación que tiene con la médula espinal es que por medio de las vías aferentes recibe y lleva el estímulo y por las vías eferentes llega la información para que la neurona motora pueda efectuar la respuesta. (E2)
	Las neuronas motoras le permiten a la médula espinal integrar información y conectarse con una gran variedad de neuronas cerebrales, se caracterizan por presentar un único axón junto con unas múltiples dendritas, prolongaciones cuya función principal es la recepción de impulsos sinápticos. (E3)
	La función de las neuronas motoras es contactar y transmitir información eferente proveniente del SNC hacia la musculatura esquelética o glandular. Las neuronas motoras son parte de la médula espinal que se encarga de conectar al SNC con la periferia, es decir enviando y ejecutando las respuestas, con sus vías aferentes y eferentes. (E4)
	La función de las neuronas motoras es transmitir la información, son capaces de desarrollar varias transmisiones de forma conjunta, debido a la gran cantidad de dendritas que poseen. Los axones mielinizados forman la sustancia blanca de la médula y la sustancia gris está formada por los cuerpos neuronales que no poseen mielina (E5)
	Las neuronas motoras se encargan de llevar los impulsos nerviosos producidos por el SNC hacia glándulas o músculos. Se conocen también como neuronas eferentes, las que ejercen control sobre la musculatura lisa y esquelética, la médula espinal transporta los impulsos nerviosos provenientes desde el SNC hacia las neuronas motoras. (E6)

Para fortalecer la capacidad de análisis y reflexión por parte de los estudiantes, se les pidió que explicaran la siguiente afirmación que se encuentra en textos escolares y universitarios: “La médula espinal es un cable de axones protegidos por la espina dorsal”. Al respecto, en la tabla 33 se resumen las principales opiniones vertidas por los estudiantes, las cuales dan cuenta que afirmaciones como estas son imprecisas y desvirtúan el conocimiento acerca de la médula espinal.

Tabla 33. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Médula espinal	Ejemplos de respuestas sobre afirmación de la médula espinal
	No es del todo correcta la afirmación, a pesar de que la médula se constituye en su mayoría de axones, ya que también encontramos somas neuronales. (E1)
	Leer que la médula espinal es un cable de axones hace que imagine que todos los cuerpos neuronales se encuentran en la parte superior y hacia abajo solo están los axones, pero realmente la sustancia gris que está formada por los cuerpos o somas neuronales se encuentra a lo largo de toda la médula y no solo en la parte superior. (E2)
	La médula espinal está compuesta por axones de las neuronas, los cuales llevan y traen la información, serían los cables que se indican en la afirmación, y la protección sería la columna vertebral que protege todo el largo de la médula espinal. (E3)
	La afirmación, intenta explicar que la médula espinal es un cordón nervioso compuesto de un conjunto de neuronas, que se encuentran protegidas por capas conocidas como meninges (piamadre, aracnoides y duramadre), que recubren a la médula y, además por las vértebras que se encuentran rodeando y protegiendo la de tal manera, que la médula se encuentra dentro del conducto vertebral. (E4)
	Esta afirmación sobre la médula espinal es imprecisa, porque la médula está protegida por tres membranas y rodeadas por las vértebras, además, no es un conjunto de axones, en ella se encuentra la sustancia blanca y la sustancia gris donde están conformadas por axones con vaina de mielina en el caso de la sustancia blanca y por somas, en la sustancia gris (E5)
	La afirmación es incorrecta porque la médula espinal comienza al término del tronco encefálico hasta casi el final de la columna vertebral. Está cubierta por tres capas de tejido (las meninges) y se encarga de comunicar los impulsos nerviosos desde y hacia el SNC. Esta a su vez, se compone principalmente por la sustancia blanca, la que está formada por axones y sustancia gris por somas (E6)

Complementario a lo anterior y con la finalidad de que los estudiantes pudieran analizar y reflexionar con respecto a las lesiones en la médula espinal, se consideró necesario solicitar a los estudiantes que describieran la composición y función de la médula espinal, pudiendo consultar internet para obtener más información. En la tabla 34 se resumen las respuestas de los estudiantes, las que en un 100% cumplen con lo solicitado.

Tabla 34. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Médula espinal	Ejemplos de respuestas sobre función y composición de la médula espinal
	Está formada por la sustancia gris en el centro que son los somas neuronales y por la sustancia blanca en la periferia que corresponde a los axones mielinizados. La médula es un puente bidireccional que permite la comunicación del SNC y el resto del organismo. De igual manera es un centro integrador que permite dar respuesta inmediata a ciertos estímulos. (E1)

Estructuralmente está formada por la sustancia gris en el centro que son los somas neuronales y por la sustancia blanca en la periferia que corresponde a los axones mielinizados. La médula espinal transmite impulsos nerviosos captados por la vía aferente para llevarla a diferentes centros integradores y por la vía eferente por la que se ejecuta la respuesta. (E2)

Está formada por la sustancia gris en el centro que son los somas neuronales y por la sustancia blanca en la periferia que corresponde a los axones mielinizados, su función es la realización de actos reflejos. Elaborada una respuesta ante un estímulo sin que participe el cerebro. Conduce los impulsos nerviosos que llegan desde los receptores hacia el cerebro, y las respuestas con las órdenes motoras desde el cerebro a los órganos efectores. (E3)

La médula espinal se encuentra compuesta por neuronas que se distribuyen de tal manera que conforma sustancia blanca (axones rodeados de mielina) en su parte externa y gris (cuerpos celulares) en su parte interna. Desde la médula emergen los nervios raquídeos o periféricos, que permitirán la comunicación de la médula con la periferia y a su vez, la médula conectará al SNC con la periferia recibiendo y ejecutando información. (E4)

La función de la médula espinal es transmitir los impulsos nerviosos a todo el cuerpo y está conformada por: 31 pares de nervios, la sustancia blanca, sustancia gris, los nervios raquídeos y las membranas que los protegen (duramadre, aracnoides y piamadre). (E5)

A lo largo de la médula, se puede encontrar la disposición de la “sustancia gris” como una “mariposa en el centro” formando astas posteriores y astas anteriores, quienes se encuentran rodeada de “sustancia blanca”. Las astas posteriores están formadas por neuronas sensitivas mientras que las astas anteriores por neuronas somatomotoras. Por otro lado, la sustancia blanca, es un conjunto de axones que transportan la información hacia y desde el SNC para concretar acciones determinadas sobre glándulas y músculos (E6)

Organizados en grupos de 3 estudiantes, deben analizar la figura 53 y una situación problema y luego responder la interrogante. Si se produce una lesión a nivel de las vértebras lumbares, ¿Cuáles serían las consecuencias a nivel físico para un individuo? ¿Qué función cumple la médula espinal a este nivel?

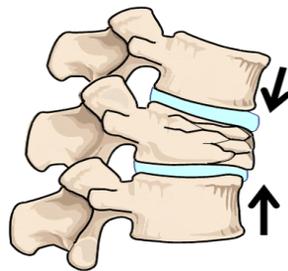


Figura 53. Lesión vértebra lumbar (Fuente: <https://www.pinterest.cl/>)

A modo de ejemplo, en la tabla 35 se resumen las principales ideas explicitadas en la guía de aprendizaje por parte de los estudiantes, las que en un 100% explican de manera consistente las consecuencias para el ser humano al producirse una lesión a nivel de las vértebras lumbares.

Tabla 35. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Médula espinal	Ejemplos de respuestas sobre consecuencias por lesión
	Pérdida de sensibilidad de las zonas inervadas por los nervios emergentes del área lesionada. En el peor de los casos, se puede perder la movilidad y sensibilidad de las extremidades inferiores, así como también el control visceral de la zona; por consiguiente, las vías de comunicación bidireccionales entre el sistema nervioso central y periférico se ven interrumpidas. (E1)
	Perder la movilidad de las extremidades inferiores. La médula espinal a nivel medular transmite impulsos nerviosos aferentes y eferentes para las caderas y extremidades inferiores. (E2)
	El daño puede afectar las fibras nerviosas, las cuales mandan y reciben la información desde el cerebro a todos los sistemas del cuerpo que controlan la sensibilidad, los movimientos, las funciones de los órganos. Por lo tanto, podría ocurrir parálisis de los sistemas u órganos que están inervando. La médula espinal lumbosacra inerva las piernas, la pelvis, intestinos y la vejiga. (E3)
	La médula a nivel lumbar se encarga de controlar la parte inferior del cuerpo, es decir de los movimientos de las piernas y pies respectivamente, a su vez permite mantener y sostener la posición al cuerpo. Una lesión a nivel lumbar hace que se pierda la movilidad de las zonas inferiores, además, el cuerpo no tendría la capacidad de mantener su posición, y se perdería el control sobre la zona sacra. (E4)
	Una de las consecuencias al tener una lesión a nivel de las vértebras lumbares es perder la movilidad en las extremidades inferiores, es decir, perder el movimiento de nuestras piernas. (E5)
	Las vértebras lumbares ocupan un tercio de la columna y son los segmentos más macizos de ella. Allí, sus funciones van desde sostener el cuerpo de forma e inervar una gran cantidad de músculos de las piernas, pelvis y glúteos. Una lesión a nivel lumbar significa la pérdida del movimiento en el tronco inferior, parálisis de piernas o paraplejía, además de una disfunción intestinal, sexual o de la vejiga. (E6)

Con respecto a la importancia del sistema nervioso autónomo, los estudiantes debieron responder qué función cumple en humanos, a modo de ejemplo en la tabla 36 se resumen las principales ideas y respuestas de los estudiantes, un 83,3% de los estudiantes cumplen con lo solicitado, un estudiante (E6) no explica la función del SNA, lo que corresponde al 16,6%.

Tabla 36. Sistematización de las respuestas de los estudiantes universitarios.

Código: Sistema nervioso autónomo	Ejemplos de respuestas sobre funciones del sistema nervioso autónomo
	El SNA es el encargado de coordinar toda la actividad fisiológica que realiza el organismo de manera inconsciente, muchas de ellas son involuntarias, tales como el latido del corazón, entre otras actividades. (E1)
	El SNA controla las acciones involuntarias del cuerpo, como por ejemplo el latido del corazón. (E2)
	El SNA es el encargado de regular las acciones involuntarias del cuerpo, como por ejemplo el latido del corazón, la secreción de algunas glándulas, el funcionamiento de los vasos sanguíneos. (E3)

El SNA tiene por función coordinar todos aquellos movimientos que son involuntarios o inconscientes de la musculatura lisa, glándulas, entre otros. (E4)

El SNA es quien controla todos los procesos involuntarios que realicemos, como lo es la respiración, la circulación sanguínea, entre otros. (E5)

“SN Autónomo y SN Somático”, diferencias entre ambos conceptos haciendo alusión al significado del concepto de autónomo. (E6)

Los estudiantes de manera individual leyeron el extracto del Artículo: “Fisiología del Sistema Nervioso Autónomo” del autor Xavier Navarro (2002) y organizados en grupos de 3 estudiantes, analizan la información y responden diversas interrogantes. Para evaluar las respuestas de los estudiantes, se utilizó una matriz de análisis que incluye los conceptos L (logrado), ML (medianamente logrado) y NL (no logrado) que se resumen en la tabla 37.

Tabla37. Matriz de análisis sobre Sistema nervioso periférico (Elaboración propia).

Indicador de evaluación	Logrado (L)	Medianamente logrado (ML)	No logrado (NL)
Explican cómo el Sistema Nervioso Periférico logra la homeostasis del organismo y la respuesta de adaptación ante cambios del medio ambiente externo e interno	El grupo explica de manera consistente cómo el Sistema Nervioso Periférico logra la homeostasis del organismo y la respuesta de adaptación ante cambios del medio ambiente externo e interno.	El grupo explica de manera parcial cómo el Sistema Nervioso Periférico logra la homeostasis del organismo y la respuesta de adaptación ante cambios del medio ambiente externo e interno.	El grupo no explica cómo el Sistema Nervioso Periférico logra la homeostasis del organismo y la respuesta de adaptación ante cambios del medio ambiente externo e interno o lo hace de manera incorrecta.
Describen las características del sistema nervioso simpático y parasimpático.	El grupo describe de manera consistente que el sistema nervioso simpático se relaciona con las respuestas al estrés y a los estados de alerta; y el sistema nervioso parasimpático con el restablecimiento de los estados de reposo y descanso.	El grupo describe de manera parcial que el sistema nervioso simpático se relaciona con las respuestas al estrés y a los estados de alerta; y el sistema nervioso parasimpático con el restablecimiento de los estados de reposo y descanso.	El grupo no describe las características del sistema nervioso simpático y parasimpático; o lo hace de manera incorrecta.
Ubican el sistema nervioso simpático y parasimpático.	El grupo ubica de manera correcta el sistema nervioso simpático y parasimpático.	El grupo ubica de manera parcial el sistema nervioso simpático y parasimpático.	El grupo no ubica el sistema nervioso simpático y parasimpático o lo hace de manera incorrecta.
Analizan la función del sistema nervioso autónomo.	El grupo analiza de manera consistente que el sistema nervioso autónomo controla el movimiento de vísceras y de la musculatura lisa, así como la actividad de las glándulas exocrinas.	El grupo analiza de manera parcial que el sistema nervioso autónomo controla el movimiento de vísceras y de la musculatura lisa, así como la actividad de las glándulas exocrinas.	El grupo no analiza la función del sistema nervioso autónomo o lo hace de manera incorrecta.

Establecen relaciones entre el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico	El grupo establece relaciones de manera consistente entre el sistema nervioso central, como integrador de respuestas, que recibe, procesa y transmite información; y el sistema nervioso periférico que transmite información sensitiva hacia el SNC e información motora desde el SNC hacia músculos y glándulas.	El grupo establece relaciones de manera parcial entre el sistema nervioso central, como integrador de respuestas, que recibe, procesa y transmite información; y el sistema nervioso periférico que transmite información sensitiva hacia el SNC e información motora desde el SNC hacia músculos y glándulas.	El grupo no establece relaciones entre el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico o lo hace de manera incorrecta.
Analizan un estudio de caso sobre los efectos del sistema nervioso periférico frente a una situación de peligro.	El grupo analiza de manera consistente las funciones antagónicas entre el sistema nervioso simpático y parasimpático frente a una situación de estrés.	El grupo analiza de manera parcial las funciones antagónicas entre el sistema nervioso simpático y parasimpático frente a una situación de estrés.	El grupo no analiza las funciones antagónicas entre el sistema nervioso simpático y parasimpático frente a una situación de estrés o lo hace de manera incorrecta.

En la tabla 38 se muestra un ejemplo de las respuestas por grupo de estudiantes sobre el sistema nervioso autónomo.

Tabla 38. Ejemplo de respuestas sobre el sistema nervioso autónomo

Tareas	Grupo 1 E1, E2 y E3	Grupo 2 E4, E5 y E6
Tarea 1 Relación con homeostasis	El sistema nervioso autónomo logra mantener la homeostasis corporal gracias a que sus terminaciones nerviosas comprenden tanto vías eferentes como aferentes, las cuales entregan información de manera conjunta, la que se hace necesaria para ejecutar la respuesta adecuada y efectiva para el estímulo captado, ya sea interno o externo.	El sistema nervioso autónomo está encargado de mantener la homeostasis, para lo cual regula diversos parámetros como la frecuencia respiratoria, la cual puede variar por varios factores como el ejercicio o altura, y para ello el sistema nervioso periférico que está inervando los pulmones, la musculatura respiratoria, ayuda a mantener la homeostasis.
Tarea 2 Características	El sistema nervioso simpático y parasimpático comparten características, ambos sistemas se componen por neuronas preganglionares y postganglionares, razón por la cual en ambos también hay ganglios.	El sistema nervioso simpático y parasimpático está formado por neuronas preganglionares y postganglionares que se encuentran en encéfalo o médula espinal y ganglios.
Tarea 3 Ubicación	El sistema nervioso autónomo se ubica en el segmento toracolumbar de la espalda, de manera tal que las neuronas preganglionares emergen en los segmentos torácicos y lumbares de la médula espinal y realizan sinapsis en los ganglios paravertebrales. Las fibras parasimpáticas	Los nervios simpáticos tienen origen en la médula espinal entre los segmentos T-1 y L-2 y desde aquí se dirigen a la cadena simpática paravertebral y finalmente a los tejidos y órganos periféricos, las fibras nerviosas parasimpáticas tienen origen en el tronco encefálico, en los núcleos de los pares craneales III (oculomotor), VII (facial), IX

	emergen desde el encéfalo y desde el segundo a cuarto nivel sacro de la columna.	(glossofaríngeo) y X (vago) y en la médula sacra: segundo y tercero nervios sacros, y a veces también del primero y cuarto (S1-S4)
Tarea 4 Función	El sistema nervioso simpático tiene una “activación masiva” de las fibras postganglionares, favoreciendo que la mayoría de la división simpática esté activa y aumente su actividad frente a situaciones de lucha o huida, para lo cual secreta adrenalina. El sistema nervioso parasimpático tiene efectos antagonistas mediante la liberación de acetilcolina. Su función, en general pudiese enfocarse en el reposo y la digestión de alimentos.	El sistema nervioso simpático aumenta la frecuencia cardíaca y respiratoria, dilata las pupilas, hace más lento el proceso de digestión, estimula la producción de sudor y de adrenalina. El sistema nervioso parasimpático hace lo opuesto al sistema nervioso simpático, por ejemplo, disminuye la frecuencia cardíaca y respiratoria
Tarea 5 Relación con SNC	El sistema nervioso simpático, se relaciona estructuralmente con la médula espinal debido a las raíces ventrales de ella. El sistema nervioso parasimpático, sus neuronas preganglionares emergen desde el mesencéfalo, protuberancia anular y el bulbo raquídeo.	Los centros de control del sistema nervioso simpático y parasimpático se encuentran en el sistema nervioso central.
Tarea 6 Análisis estudio de caso	El sistema nervioso parasimpático recobra el estado de reposo del organismo, por lo cual regulará la frecuencia cardíaca y respiratoria, se reactivarán las acciones digestivas, entre otras acciones. En otras palabras, este sistema realizará acciones contrarias al sistema nervioso simpático	El sistema nervioso parasimpático disminuye la frecuencia cardíaca y respiratoria, las pupilas se achican y la salivación vuelve a su estado normal. Todas las variables vuelven a parámetros normales.

En la tabla 39 se resume la valoración obtenida en cuanto al análisis de las respuestas de los grupos de trabajo en 6 tareas realizadas.

Tabla 39. Valoración de las respuestas a tareas sobre el sistema nervioso autónomo

Grupo	Tareas					
	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	Tarea 4	Tarea 5	Tarea 6
Grupo 1 E1, E2 y E3	L	L	L	L	L	L
Grupo 2 E4, E5 y E6	L	L	L	L	L	L
%	100% L					

A modo de resumen de la categoría de análisis funcional, el 100% de los estudiantes a partir de las 6 tareas desarrolladas han podido integrar de mejor forma los conceptos aprendidos anteriormente y en esta etapa de reflexión desarrollar un modelo intermedio y explicativo acerca cómo el sistema nervioso periférico logra la homeostasis del organismo y la respuesta de adaptación ante cambios del medio ambiente externo e interno. En cuanto a los indicadores

de evaluación se han cumplido por cuanto, los estudiantes han podido analizar la función del sistema nervioso periférico y establecer relaciones con el sistema nervioso central, superando concepciones alternativas en donde separan ambos sistemas.

En correspondencia con las categorías conceptual, estructural y funcional analizadas anteriormente, la **categoría relacional** fue analizada a partir del desarrollo de la cuarta y última actividad del ciclo indagatorio en etapa de aplicación ¿Arco reflejo o acto reflejo?, la cual consta de una serie de tareas individuales y en colaboración asociadas con la guía de aprendizaje 4 (Ver anexo 3), cuyo objetivo persigue el avance hacia un modelo final, donde los estudiantes puedan diferenciar a nivel estructural, funcional y relacional un reflejo somático de un reflejo visceral sobre la base de un modelo explicativo y analizar anomalías asociadas con la percepción del dolor diferenciándolas de un anestésico. Se define como subcategoría de análisis la resignificación de conocimiento científico.

Con la finalidad de poder potenciar las habilidades de aplicación y análisis, de manera individual los estudiantes debieron responder la interrogante ¿Qué diferencia un arco reflejo de un acto reflejo?, en un primer momento presentó dificultad poder responder esta interrogante, sin embargo, en una puesta en común, los estudiantes pudieron complementar sus respuestas y avanzar hacia la resignificación de su conocimiento inicial, situación que queda plasmada en las respuestas que se resumen en la tabla 40.

Tabla 40. Sistematización de las respuestas a tareas sobre el sistema nervioso periférico.

Código: Arco reflejo y acto reflejo	Ejemplos de respuestas en cuanto a diferencias entre acto y arco reflejo
	El arco reflejo es una acción involuntaria frente a un estímulo determinado, y es procesada a nivel de la médula espinal, mientras que el acto reflejo pudiese ser una acción consciente. (E1)
	Un arco reflejo es la secuencia de pasos desde que un estímulo es captado por receptores sensoriales. El acto reflejo es la acción involuntaria que es controlada por el arco reflejo. (E2)
	Un arco reflejo es una serie de componentes, como los receptores, neuronas sensitvas, neuronas motoras, interneurona y efector. El arco reflejo permite realizar un acto reflejo, el cual es una respuesta involuntaria y rápida. (E3)
	Un arco reflejo es una vía nerviosa que recorre el arco vertebral y que controla el acto reflejo. Los actos reflejos se caracterizan porque ocurren rápido al activar motoneuronas sin que estas retrasen la señal al pasar por el cerebro. (E4)
	El arco reflejo, es el trayecto que siguen uno o más impulsos nerviosos del cuerpo humano. El acto reflejo, es la respuesta producida por el estímulo nervioso que ha viajado por el arco reflejo. (E5)
	Un arco reflejo es un circuito neuronal simple, donde intervienen un receptor, neurona sensitiva, interneuronas, neurona motora y un efector. El acto reflejo es involuntario, rápido, automático y se realiza sin la participación del cerebro (E6)

En cuanto al desarrollo de las tareas a) Completar una tabla e identificar en un listado de ejemplos si eran actos voluntarios o reflejos y justificar su respuesta. b) Explicar con sus palabras ¿Cómo se produce una respuesta refleja? y c) En una imagen identificar y nombrar

las principales estructuras de un arco reflejo según colores; estas tareas no presentaron mayores dificultades, dando cuenta que los estudiantes muestran avances significativos hacia la consecución de un modelo final de la respuesta nerviosa.

Ahora bien, en tareas más complejas a nivel relacional y analítico sobre un reflejo somático y uno visceral, en grupos de 3 estudiantes debieron observar imágenes, desarrollar tareas y responder preguntas. También, analizar un trastorno congénito como la insensibilidad al dolor y establecer diferencias con respecto a un anestésico. Para evaluar las respuestas de los estudiantes, se utilizó una matriz de análisis que incluye los conceptos L (logrado), ML (medianamente logrado) y NL (no logrado) que se resumen en la tabla 41.

Tabla 41. Matriz de análisis sobre reflejo somático y visceral, insensibilidad al dolor y anestésicos. (Elaboración propia).

Indicador de evaluación	Logrado (L)	Medianamente logrado (ML)	No logrado (NL)
Analizan la función del cerebro y si este está implicado en la acción refleja somática.	El grupo analiza de manera consistente que el cerebro es el principal centro de procesamiento de la información sensitiva, en cambio en la acción refleja somática interviene la médula espinal como centro elaborador de reflejos y conductor de impulsos desde y hacia el encéfalo.	El grupo analiza de manera parcial que el cerebro es el principal centro de procesamiento de la información sensitiva, en cambio en la acción refleja somática interviene la médula espinal como centro elaborador de reflejos y conductor de impulsos desde y hacia el encéfalo.	El grupo no analiza la función del cerebro y si este está implicado en la acción refleja somática o lo hace de manera incorrecta.
Diferencian estructural y funcionalmente un arco reflejo somático de uno visceral.	El grupo diferencia de manera consistente tanto estructural como funcionalmente un arco reflejo somático de uno visceral.	El grupo diferencia de manera parcial tanto en estructura como función un arco reflejo somático de uno visceral.	El grupo no diferencia estructural y funcionalmente un arco reflejo somático de uno visceral o lo hace de manera incorrecta.
Fundamentan qué división del sistema nervioso conduce los impulsos que provocan la contracción de los diferentes tipos de músculos.	El grupo fundamenta de manera consistente que el sistema nervioso periférico es el encargado de transmitir información sensitiva hacia el SNC e información motora desde el SNC hacia músculos y glándulas.	El grupo fundamenta de manera parcial que el sistema nervioso periférico es el encargado de transmitir información sensitiva hacia el SNC e información motora desde el SNC hacia músculos y glándulas.	El grupo no fundamenta qué división del sistema nervioso conduce los impulsos que provocan la contracción de los diferentes tipos de músculos o lo hace de manera incorrecta.
Identifican al menos tres lugares del sistema nervioso central que puedan servir como centros de integración	El grupo identifica de manera correcta tres lugares del sistema nervioso central que puedan servir como centros de integración	El grupo identifica de manera correcta uno o dos lugares del sistema nervioso central que puedan servir como centros de integración	El grupo no identifica lugares del sistema nervioso central que puedan servir como centros de integración para los arcos reflejos

para los arcos reflejos viscerales.	para los arcos reflejos viscerales.	para los arcos reflejos viscerales.	viscerales o lo hace de manera incorrecta.
Analizan cuáles son las consecuencias para las personas que padecen de insensibilidad al dolor.	El grupo analiza de manera consistente cuáles son las consecuencias para las personas que padecen de insensibilidad al dolor.	El grupo analiza de manera parcial cuáles son las consecuencias para las personas que padecen de insensibilidad al dolor.	El grupo no analiza cuáles son las consecuencias para las personas que padecen de insensibilidad al dolor o lo hace de manera incorrecta.
Analizan qué diferencia a un anestésico de un trastorno congénito como la insensibilidad al dolor y a qué nivel actúan los anestésicos en el organismo.	El grupo analiza de manera consistente qué diferencia a un anestésico de un trastorno congénito como la insensibilidad al dolor y a qué nivel actúan los anestésicos en el organismo.	El grupo analiza de manera parcial qué diferencia a un anestésico de un trastorno congénito como la insensibilidad al dolor y a qué nivel actúan los anestésicos en el organismo.	El grupo no analiza qué diferencia a un anestésico de un trastorno congénito como la insensibilidad al dolor y a qué nivel actúan los anestésicos en el organismo o lo hace de manera incorrecta.

En la tabla 42 se muestra un ejemplo de las respuestas por grupo de estudiantes en las 6 tareas realizadas sobre reflejo somático y visceral, insensibilidad al dolor y anestésicos

Tabla 42. Ejemplos de respuestas a tareas sobre sobre reflejo somático y visceral, insensibilidad al dolor y anestésicos.

Tareas	Grupo 1 E1, E4 y E5	Grupo 2 E2, E3 y E6
Tarea 1 Acción refleja somática	El cerebro se involucra en la percepción de la acción refleja, no obstante, este no participa en la generación de la acción refleja, lo que es procesado por la médula espinal.	Los arcos reflejos somáticos son integrados en la médula espinal y eso es lo que permite que la respuesta que se produce sea inmediata, directamente no está involucrado el cerebro.
Tarea 2 Diferencia estructural y funcional entre arco reflejo somático y visceral.	El arco reflejo somático está dado por la división somática del SN periférico, mientras que el reflejo visceral es controlado por las divisiones simpáticas y parasimpáticas del SN autónomo. El reflejo somático es ejecutado por el músculo esquelético, mientras que el visceral, por glándulas y músculo cardiaco y/o liso.	Un arco reflejo somático se produce a nivel del músculo esquelético, mientras que un arco reflejo visceral en los órganos como el intestino. En los reflejos viscerales participan fibras preganglionares eferentes y fibras postganglionares eferentes, el ganglio de la raíz dorsal y el ganglio de la cadena simpática y son controlados por el SN autónomo.
Tarea 3 SN que conduce impulsos que provoca la contracción de músculos.	El sistema nervioso somático, sensitivo, que forma parte del sistema nervioso periférico, es el encargado de controlar las acciones que son voluntarias.	El sistema nervioso somático, es parte del sistema nervioso periférico, está encargado de las respuestas que están bajo control consciente (respuestas voluntarias).
Tarea 4 Centros de integración	Algunas de las áreas superiores involucradas son: el bulbo raquídeo, hipotálamo y sistema límbico (control	Nivel encefálico inferior (cerebelo, tronco encefálico y núcleos cerebrales) y el bulbo raquídeo, hipotálamo y sistema límbico.

para arcos reflejos viscerales	emocional e influencia de ellas sobre el organismo).	
Tarea 5 Consecuencias para personas que padecen de insensibilidad al dolor.	Produce daño a nivel molecular y celular por una mutación genética que provoca modificaciones en los receptores específicos del dolor. Por un mal funcionamiento de los nociceptores, en caso de un accidente, ellos no serán capaces de percibir sus heridas o fracturas.	Se debe a una falla en las neuronas encargadas de percibir estímulos dolorosos, ya que por mutaciones de los genes que regulan los canales de sodio que participan en la transmisión del impulso nervioso, no se pueden comunicar esos estímulos, quienes lo padecen no pueden percibir sus heridas.
Tarea 6 Diferencia entre anestésico e insensibilidad al dolor.	Los anestésicos son soluciones químicas, dosificadas y controladas, utilizadas en tratamientos médicos para que el paciente pierda la conciencia y/o la sensación de dolor, en cambio, la insensibilidad congénita al dolor se produce por mutaciones genéticas, y no es controlable.	El anestésico es controlado y temporal mientras que la insensibilidad congénita al dolor se produce por mutaciones genéticas y se describe como una neuropatía periférica que afecta al sistema nervioso periférico que conecta el cerebro y médula espinal a los músculos y células sensoriales.

En la tabla 43 se resume la valoración obtenida en cuanto al análisis de las respuestas de los grupos de trabajo y las 6 tareas realizadas.

Tabla 43. Valoración de las respuestas a tareas sobre sobre reflejo somático y visceral, insensibilidad al dolor y anestésicos (Elaboración propia)

Grupo	Tareas					
	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	Tarea 4	Tarea 5	Tarea 6
Grupo 1 E1, E4 y E5	L	L	L	L	L	L
Grupo 2 E2, E3 y E6	L	L	L	L	L	L
%	100% L					

Según las respuestas dadas por los grupos de estudiantes, se visualiza que el 100% integra los conceptos aprendidos anteriormente y en cuanto a la progresión de la secuencia de enseñanza y aprendizaje, en el nivel de relaciones se evidencia que hay aprendizajes significativos, las valoraciones obtenidas así lo demuestran y dan cuenta de manera consistente y fundamentada del logro de los indicadores de evaluación comprometidos.

Triangulación de datos

A modo de síntesis y como una manera de poder analizar diferentes métodos de recogida de información para este estudio, se presenta en la tabla 44, una triangulación de datos, la cual consiste en la utilización de diferentes fuentes y métodos de recolección (Sampieri, 2018).

Tabla 44. Triangulación de datos (Elaboración propia)

Categoría y subcategoría de análisis	Dibujos de los estudiantes o imágenes de libros	Guías de aprendizaje, respuestas a preguntas abiertas	Grupo focal estudiantes
--------------------------------------	---	---	-------------------------

Conceptual Concepciones alternativas	Los dibujos de los estudiantes dan cuenta de la presencia de concepciones alternativas asociadas fundamentalmente a conceptos del sistema nervioso de los invertebrados, como así mismo, en la identificación de estructuras en imágenes, por ejemplo en neuronas olfatorias.	Con respecto a las respuestas de los estudiantes en las guías de aprendizaje, manifiestan dificultades para realizar los dibujos por falta de conocimientos previos o desconocimiento del sistema nervioso de invertebrados. Así también, les fue difícil explicar la diferencia entre la función de los receptores sensoriales de animales y humanos, lo que posiblemente se debe al escaso manejo de esos conceptos, lo que se reflejó en errores conceptuales.	De acuerdo con lo manifestado por el estudiante (E5), las concepciones alternativas se deben a que no tenía el conocimiento sobre el sistema nervioso de los invertebrados, inclusive había invertebrados que no los conocía como la hidra de agua dulce, entonces poder imaginar el sistema nervioso fue difícil, pero con la ayuda de las actividades y de imágenes pude mejorar mi conocimiento sobre el sistema nervioso de los invertebrados.
Estructural Aprendizaje de la respuesta nerviosa	En cuanto a lo estructural y al aprendizaje de la respuesta nerviosa, se presentaron dificultades en la identificación de las estructuras que conforman los organismos invertebrados, en neuronas olfatorias y dónde es posible encontrarlas en el sentido del olfato. También en lo estructural de las neuronas motoras. Sin embargo, las tareas individuales y en colaboración asociadas a la guía de aprendizaje facilitaron el logro del nivel estructural.	Los estudiantes señalan en las guías de aprendizaje que se les presentaron dificultades para describir tipos de olores, razón por la cual se recurrió a literatura especializada para poder describirlos y diferenciarlos. También, se rescata como necesario poder ampliar el conocimiento con respecto al sentido del olfato, porque sólo se analiza de forma anatómica, dejando de lado su fisiología.	A juicio de la estudiante (E2), desarrollar la secuencia le ayudó mucho a entender la respuesta nerviosa porque se vio todo integrado, me gustó la secuencia de los contenidos, partir con los conceptos básicos del sistema nervioso de los invertebrados hasta llegar al sistema nervioso de los vertebrados y el ser humano (E2).
Funcional Estrategias de enseñanza	Con respecto a lo funcional y las estrategias de enseñanza, ciertamente la progresión de la secuencia basada en indagación científica y modelización, favoreció	Los estudiantes señalan que hubo varias preguntas que les generaron dudas, si bien el contenido se había visto en las asignaturas, al no estar presente de forma frecuente en la	En las clases virtuales pudimos trabajar la comunicación e información, el cuestionamiento de la información, el mismo trabajo en equipo, colaborativo que no se

	<p>el abordaje de los contenidos, por ejemplo, presentó menor dificultad analizar las consecuencias de una lesión a nivel de las vértebras lumbares, como así mismo señalar la función de la médula espinal y de las neuronas motoras.</p>	<p>enseñanza se había olvidado, pero se pudo reforzar en la sesión de trabajo.</p>	<p>liga muchas veces al trabajo científico, también, vimos el pensamiento crítico porque nos cuestionábamos muchas cosas, con las guías de aprendizaje pudimos reflexionar en torno a nuestro propio aprendizaje, partíamos de una idea, buscábamos y replanteábamos nuevamente esa idea, seguíamos una ruta e igual trabajamos mucho lo que eran las actitudes científicas (E1).</p>
<p>Relacional Resignificación de conocimiento científico</p>	<p>Con respecto a lo relacional, los estudiantes pudieron analizar y relacionar las estructuras de un arco reflejo y diferenciarlo de un acto reflejo. En términos generales, y de manera grupal no presentaron concepciones alternativas asociadas a la identificación de un reflejo somático y visceral. En este sentido, hubo un mejor desempeño en tareas asociadas a esta categoría, por cuanto los estudiantes avanzaron progresivamente para llegar a este nivel, se observa que hubo resignificación de su conocimiento científico inicial y reflexión.</p>	<p>Los estudiantes señalan que presentaron algunas dificultades, ya que no tenían conocimientos previos de la insensibilidad congénita. Otro de los aspectos mencionados, fue la dificultad para diferenciar el acto y arco reflejo, si bien los estudiantes reconocían que eran cosas diferentes, su explicación del acto reflejo no era del todo correcta, por lo que tuvieron que buscar un poco más de información para precisar de mejor forma sus respuestas.</p>	<p>Las actividades que se proponían me hacían relacionar todos los contenidos vistos, pensar antes de tener una respuesta, no estaba la respuesta en la guía directamente, partía obligándome a recordar las cosas que ya sabía o tratando de imaginar primero la respuesta, entonces, a partir de eso después buscaba información y complementaba, leía cosas en Internet, buscaba imágenes, pero creo que el ejercicio de hacer lo otro antes, hace que no se me olviden esas cosas cuando las aprendo así, las cosas que busco, también complementar lo que uno sabe con los compañeros ayuda bastante (E4).</p>

Conclusiones

Con respecto a los supuestos iniciales de este estudio, los resultados de la investigación dan cuenta que la modelización como estrategia didáctica con estudiantes universitarios, facilitó

el avance progresivo de los niveles de la respuesta nerviosa definidos en la secuencia de enseñanza y aprendizaje; y que la indagación científica favoreció el aprendizaje de los conocimientos de la respuesta nerviosa. Al respecto, es posible concluir que se implementó la secuencia de enseñanza aprendizaje en modalidad virtual y en condiciones de pandemia por Covid-19, la cual no estuvo exenta de dificultades y logró mediante el desarrollo de las actividades y sus respectivas tareas asociadas a las guías de aprendizaje, mejoras sustantivas en el desempeño de los estudiantes, producto del trabajo colaborativo desarrollado que potencia el cambio conceptual de manera gradual, sobre todo en cuanto a las implicancias que tiene para los estudiantes la resignificación de su conocimiento científico asociado a la respuesta nerviosa. De acuerdo con lo anterior los estudiantes en estudio han afirmado:

“Podría mencionar y destacar el hecho de conocer la configuración del sistema nervioso de los invertebrados, eso es muy novedoso, el segundo sería el tema de la percepción de los olores, que eso fue completamente nuevo y más desafiante aun cuando nos pidió crear un experimento para trabajar ese mismo contenido y por último, lo del arco y acto reflejo, me llamó mucho la atención el no habérmelo cuestionado antes y porque tampoco lo había escuchado y ahora saber la diferencia y poderlo plantear en las clases, de hecho creo que puede ser un elemento muy novedoso en las clases y eso llamar mucho la atención. (Grupo Focal Estudiante1)

“Conocer el sistema nervioso de los invertebrados fue muy significativo, los olores básicos que al menos deberíamos conocer, lo del sentido del olfato en los perros y gatos lo aprendí aquí y después de eso busqué mucha información adicional y nunca se me olvidará”. (Grupo Focal Estudiante 4)

“Lo que he aprendido con sentido y que le he dado mayor importancia es a la función que tiene la médula espinal, sobre todo en el fortalecimiento de la protección que debemos darle, por las consecuencias negativas que tiene cualquier daño que pueda afectar de manera radical la vida de las personas”. (Grupo Focal Estudiante 5)

Respecto del objetivo general de este estudio: evaluar la implementación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje universitario basada en la modelización de la respuesta nerviosa y con foco en el desarrollo de procesos de indagación científica para la comprensión del sistema nervioso y dando respuesta a la pregunta de investigación general acerca de cómo cambian las concepciones alternativas sobre la noción científica de la respuesta nerviosa, se puede concluir que inicialmente los estudiantes presentaron diversas concepciones alternativas asociadas fundamentalmente a conceptos del sistema nervioso de invertebrados, neuronas, órganos de los sentidos, médula espinal y arco reflejo, entre otras. Sin embargo, estas fueron disminuyendo con el desarrollo de las actividades y sus distintas tareas, debido a que, en las sesiones sincrónicas, se hizo un fuerte hincapié en la indagación científica y en la progresión de modelos que permitieran a los estudiantes un mejor desarrollo de los procesos y la adquisición de habilidades de pensamiento científico. Recogiendo las palabras de Oliva (2019), el aprendizaje basado en modelos se definió como un itinerario de

progresión, es decir, que se partió de modelos personales intuitivos de los estudiantes para evolucionar con la enseñanza en otros más complejos, lo cual fue posible mediante preguntas que los estudiantes pudieron responder a partir de sus modelos mentales. En este sentido, lo planificado en los niveles conceptual y estructural, fue articulado en base a un modelo inicial e intermedio que les permitió aproximarse de manera sustantiva a los niveles funcional y relacional, identificados como modelos intermedio y final. Pese a que varias tareas fueron muy ambiciosas, los estudiantes durante todo el desarrollo se mostraron muy receptivos y abiertos a querer aprender y mejorar sus conocimientos de la respuesta nerviosa.

“Recuerdo que en la primera sesión tenía confusión en los dibujos de los invertebrados, lo que pude mejorar con las actividades desarrolladas, en la última sesión puedo decir que al principio no tenía claro los conceptos o la diferencia entre arco y acto reflejo, mi respuesta al principio estaba bastante errada pero después de desarrollar las tareas de la guía de aprendizaje entendí y me quedó bastante claro”. (Grupo Focal Estudiante 2)

“En mi caso yo me recuerdo de la primera actividad que hicimos de los invertebrados, no estaba en conocimiento de que tenían sistema nervioso y para ser sincera me sorprendí y eso que lo había leído, pero nunca le presté importancia a eso, al realizar los dibujos y luego observar imágenes no se me olvidará y lo aprendí bien”. (Grupo Focal Estudiante 4)

“Todo lo que he aprendido en las clases me ha servido para un futuro cercano, ya que como profesora debo generar un aprendizaje significativo en los estudiantes”. (Grupo Focal Estudiante 5)

Respecto del primer objetivo de la investigación: describir el avance progresivo de los niveles de la respuesta nerviosa en un grupo de estudiantes universitarios y para dar respuesta a la pregunta de investigación ¿Cómo la modelización y el desarrollo de procesos de indagación científica en una secuencia de enseñanza y aprendizaje, favorece el aprendizaje y resignificación del conocimiento científico sobre la respuesta nerviosa en los estudiantes universitarios? Se puede concluir que el grupo de estudiantes fue avanzando progresivamente en la secuencia, se presentaron diferencias individuales pero mediante la reflexión y el desarrollo de las actividades individuales y colaborativas del ciclo de indagación científica se fueron superando las concepciones alternativas y vacíos conceptuales en cuanto a la respuesta nerviosa, lo cual permitió retroalimentar el proceso en diversos momentos y volver atrás para ir fortaleciendo sus conocimientos con la utilización de recursos complementarios como imágenes de libros, ejemplos de estudios de caso, presentaciones realizadas por la profesora, responder preguntas metacognitivas para ver el nivel de avance en la progresión de la secuencia de enseñanza y aprendizaje, entre otros. Los estudiantes han evidenciado:

“Lo primero que hice fue ir recordando lo trabajado en la universidad, en las distintas asignaturas donde vimos sistema nervioso, anatomía, histología fisiología;

y también un poco de los que nos enseñaban en el liceo; luego al momento de ir realizando las guías era tratar de redactar primeramente la respuesta en base a lo que recordaba y luego releerla y buscar un poco más de información para complementarla o cambiarla de hecho en algunos casos para precisar de mejor forma las definiciones; y lo otro fue ayudar a mis compañeros que a veces me preguntaban algunas cosas, entonces eso me permitía ir apropiándome más de los contenidos, en este caso, de respuesta nerviosa” (Grupo Focal Estudiante 1)

“Lo que hacía fue analizar y observar detenidamente las imágenes o esquemas; a veces uno las pasa por alto, pero hay respuestas que de repente están en las representaciones o imágenes. También, respondiendo a partir de lo que sabía, corroborando o complementando la información o cambiándolo todo porque a veces uno tiene ideas que están completamente erradas”. (Grupo Focal Estudiante 2)

“Generalmente el volumen de contenidos que se ve en las asignaturas de especialidad es mucho, lo que nos hace memorizar y aprender muchos contenidos sin tener tiempo de madurar algunas ideas, pero en estas sesiones fue distinto, respondíamos preguntas y se daba la oportunidad de intercambiar opiniones, hubo conocimientos que los aprendía por primera vez lo que me motivó a seguir buscando información complementaria para responder las guías de aprendizaje”. (Grupo Focal Estudiante 5)

Respecto del segundo objetivo de la investigación: analizar el proceso de resignificación del conocimiento de la respuesta nerviosa sobre la base del avance progresivo de los niveles definidos conceptual, estructural, funcional y relacional para la secuencia de enseñanza y aprendizaje y para dar respuesta a la pregunta de investigación ¿Qué elementos facilitan u obstaculizan la resignificación de conocimiento científico y de las concepciones alternativas sobre la noción científica de la respuesta nerviosa que poseen los estudiantes universitarios? Se puede concluir que los elementos que facilitaron la resignificación de conocimiento científico y de las concepciones alternativas sobre la respuesta nerviosa que presentaban los estudiantes universitarios, fue la implementación de la secuencia de enseñanza aprendizaje innovadora que contó con un componente altamente práctico y contextualizado, que favoreció el aprendizaje significativo y se tradujo en mejores estrategias de enseñanza y aprendizaje del sistema nervioso. En cambio, aquellos elementos que podrían obstaculizarla serían prácticas transmisivas, memorísticas y donde se invisibilizan los conocimientos previos y no se consideran como punto de partida las concepciones alternativas que poseen los estudiantes acerca del sistema nervioso. En este sentido, la evidencia empírica, nos pone en alerta, por cuanto, si estas concepciones no se detectan tempranamente, persisten y se mantienen en el tiempo, lo que se transforma en un obstáculo para los procesos de formación inicial docente y futuro desarrollo profesional (Aramburu, 2004; Carrascosa, 2005; Driver, 1988; Furió, 1996). Los estudiantes han afirmado:

“Las imágenes tienen que ser claras, complementarias para aprender porque el lenguaje es complejo, difícil de entender, a veces las afirmaciones de los libros no

las entiendo y me complica aprender, sobre todo en temas del sistema nervioso”. (Grupo Focal Estudiante 4)

“El tema del lenguaje científico es un elemento que complica, palabras que se parecen, no contextualizar las clases y no haber entendido en un comienzo”. (Grupo Focal Estudiante 2)

“Con respecto a lo realizado, creo que dibujar y buscar nueva información sobre un tema favorece la consolidación de la información en la memoria a largo plazo, implicando un aprendizaje significativo de lo que se busca representar en los dibujos, y más aún cuando se representa o se expresa de forma escrita la nueva información encontrada”. (Grupo Focal Estudiante 1)

Con certeza, fue posible evidenciar que inciden en el aprendizaje y resignificación del conocimiento científico, las concepciones alternativas sobre el sistema nervioso que poseen los estudiantes universitarios de Pedagogía en Ciencias. Existe suficiente evidencia empírica que da cuenta que esto al no ser pesquisado a tiempo se puede traducir en errores conceptuales, estructurales y funcionales del sistema nervioso, separando este sistema de otros sistemas del cuerpo y no logrando explicar sus funciones y menos asociarlas con el entorno (Alvarado, Rivas y Ochoa, 2012; Garcés, 2018; González y Tamayo, 2000; Martínez, Rangel y Cepeda, 2015; Olave y Martín, 2015; Orozco y Urrea, 2017; Ranaweera y Montplaisir, 2010; Slominski, Momsen y Montplaisir, 2017).

A partir de lo anterior, algunas opiniones recogidas de los estudiantes son:

“Las actividades me hacían pensar antes de tener la respuesta, no estaba la respuesta en la guía directamente, partía obligándome a recordar las cosas que ya sabía o tratando de imaginar primero la respuesta, entonces, a partir de eso después buscaba información y complementaba, leía cosas en Internet, buscaba imágenes, pero creo que el ejercicio de hacer lo otro antes, hace que no se me olviden esas cosas cuando las aprendo así, las cosas que busco”. (Grupo Focal Estudiante 2)

“El haber buscado más información, haber leído algunos libros, ver imágenes y escuchar lo que exponían mis compañeros y los alcances que entregaba la profesora”. (Grupo Focal Estudiante 6)

“El aprendizaje se logró debido a que fui reflexionando en cada una de las actividades desarrolladas, donde se reforzaron los conceptos y se potenciaron otros aspectos como lo actitudinal, procesos de autocuidado, relacionar los conocimientos y lo que se aprende con la vida diaria”. (Grupo Focal Estudiante 4)

“Lo que he aprendido lo escuché en la clase y luego busqué un poco más de información, encontrando que las neuronas anaxónicas se suelen encontrar en invertebrados y conformando la retina; y funcionalmente hablando son interneuronas”. (Grupo Focal Estudiante 1)

“Los conocimientos se alcanzaron gracias a la indagación científica y análisis minucioso que se fue realizando. Además, la comunicación que se fue dando a medida que se realizaba la clase, en conjunto con la docente y los participantes, porque se pudo reactivar aquellos conocimientos que se encontraban olvidados o cambiar lo que estaba incorrecto”. (Grupo Focal Estudiante 3)

En términos generales y en relación con las concepciones alternativas de la respuesta nerviosa, se evidenciaron dificultades principalmente a nivel conceptual y estructural, lo que fue superado al plantear a los estudiantes determinadas situaciones problema donde pudieran aplicar lo aprendido. Al iniciar la secuencia de enseñanza y aprendizaje, se observó que casi la totalidad de los estudiantes en estudio presentó concepciones alternativas al realizar dibujos del sistema nervioso de invertebrados, los que quedaron clasificados en los niveles de representación 1 y 2. Sólo un estudiante (E5), dibujó de manera correcta neuronas y una red nerviosa en la hidra de agua dulce quedando en el nivel de representación 3. Esta situación mejoró a partir de las primeras tareas realizadas, lo que se pudo corroborar posteriormente porque el 100% no presentó concepciones alternativas en la definición de red nerviosa, 50% y 67% de los estudiantes no presentó concepciones alternativas en la definición de cordón y ganglio nervioso. Sin embargo, el análisis realizado muestra que vuelven a emerger concepciones alternativas asociadas a errores conceptuales, un 50% y 33% las presenta al definir cordón y ganglio nervioso. Los estudiantes han señalado:

“No tenía el conocimiento sobre el sistema nervioso de los invertebrados, inclusive había invertebrados que no los conocía como la hidra de agua dulce, entonces poder imaginar el sistema nervioso fue dificultoso, pero con la ayuda de las actividades y de imágenes pude mejorar mi conocimiento sobre el sistema de dicho invertebrado”. (Grupo Focal Estudiante 5)

“No tenía mucho conocimiento previo, sobre cómo era el sistema nervioso de un invertebrado, por lo tanto, fue dificultoso imaginarse y dibujar el sistema nervioso de especies, también me costó definir algunos conceptos, pero con el desarrollo de las tareas e intercambio de opiniones con la profesora y mis compañeros pude aprender de mejor forma”. (Grupo Focal Estudiante 6)

“Fue muy difícil poder identificar las estructuras del sistema nervioso de invertebrados, definir conceptos como ganglios cerebrales o redes neuronales, entender la complejidad de una lombriz de tierra, que después de todo no es tan simple como lo pensaba”. (Grupo Focal Estudiante 3)

“Se me presentaron varias dificultades como por ejemplo al identificar las estructuras en las cuales se encuentran las neuronas olfatorias, ya que algunos conceptos los tenía olvidados, también fue difícil poder encontrar ciertas características de los olores a diferencia de los ejemplos que fue un poco más fácil”. (Grupo Focal Estudiante 1)

Respecto del aprendizaje de la respuesta nerviosa y el avance progresivo en la secuencia de enseñanza por parte de los estudiantes, los resultados obtenidos muestran que hubo un proceso de toma de decisiones conscientes e intencionales y se concluye que desde el rol docente, al proponer una manera distinta para aprender la respuesta nerviosa con uso de estrategias de enseñanza y aprendizaje diversas, favoreció el cambio conceptual, la resignificación de conocimiento científico en los estudiantes universitarios en estudio. En este mismo sentido, se desarrolló una práctica pedagógica más reflexiva y donde se generaron entornos de aprendizaje que favorecieron una mayor aproximación a modelos explicativos con respecto a la respuesta nerviosa y donde los estudiantes pudieron compartir sus vivencias y experiencias cotidianas, intercambiar opiniones y desarrollar procesos de metacognición, para ello se consideró instrumentos de evaluación que abordaran las dimensiones conceptuales, procedimentales y actitudinales definidas en la planificación de la secuencia. Algunas opiniones recogidas de los estudiantes son:

“Lo que yo siempre fui haciendo desde el principio es que iba relacionando lo que aprendía con lo que yo ya sabía, entonces lo relacionaba y después investigaba un poco más, como que ahí me formaba la idea general: también, revisaba imágenes, de hecho, me gusta mucho ver imágenes porque así siento que aprendo más”. (Grupo Focal Estudiante 4)

“Me ayudó mucho entender la respuesta nerviosa porque se vio todo integrado, me gustó la secuencia de los contenidos, conocer bien primero el sistema nervioso de los invertebrados y de allí pasar al sistema nervioso de los vertebrados y el ser humano. Se relacionó todo, a veces, dábamos por superado algunos temas, pero al reforzar y revisar lo aprendido volvíamos a presentar algunos vacíos conceptuales”. (Grupo Focal Estudiante 6)

“Realizar las actividades sobre la respuesta nerviosa me ha servido para conocer cuáles son las concepciones alternativas que tengo y las que usualmente presentan los estudiantes y de esta manera estar atenta a esos conceptos para resignificarlos cuando sea mi turno de enseñar”. (Grupo Focal Estudiante 2)

“Lo trabajado en las sesiones fue muy significativo, sobre todo en el ámbito de poder mejorar mis conocimientos con respecto al arco reflejo, y conocer nuevos conceptos como la insensibilidad congénita al dolor”. (Grupo Focal Estudiante 3)

“Todo lo que he aprendido me ha servido para poder reforzar los contenidos, observar el método de trabajo de la docente y poder ejecutarlo de la misma manera en un futuro cercano como profesora, ya que muchas veces trabajar con una guía no es tan provechoso para los estudiantes, pero si se trabaja de la forma como lo hace la profesora Jacqueline, el uso de estas guías es enorme, y para los estudiantes es un momento de gran aprendizaje, que ya se generan momentos de análisis, de

relación, de identificación de partes, entre otros, lo cual se genera un trabajo en conjunto, entre el estudiante y el profesor”. (Grupo Focal Estudiante 5)

Limitaciones

Este estudio presentó ciertas limitaciones en cuanto a la incertidumbre y desafío que significó implementar una secuencia de enseñanza aprendizaje en modalidad virtual como consecuencia de la pandemia por Covid-19 y contar con escasa experiencia en cuanto al uso de metodologías virtuales interactivas. En este sentido, la virtualidad significó una nueva forma de enseñar y de aprender, el desafío permanente fue reinventarse y generar motivación en los estudiantes en cada una de las actividades que se proponían, debido a que no fue posible el contacto presencial, las sesiones fueron sincrónicas y las retroalimentaciones se vieron en cierta medida más restringidas. Así mismo, no menos complejo fue poder advertir ciertos obstáculos que se iban presentando durante el proceso y que, aunque se intentó reforzar, se vio dificultado por factores externos como mala conectividad de parte de los estudiantes, sesiones sincrónicas de corta duración, las cuales por disposiciones universitarias no podían sobrepasar la hora de duración, tener que recurrir a medios distintos para recoger información, como uso de celulares, la entrega de las guías de aprendizaje por parte de los estudiantes posterior a las sesiones sincrónicas, entre otros.

Otra limitación identificada, es que la propuesta de la secuencia de enseñanza y aprendizaje fue muy ambiciosa y excesiva, porque en cada actividad del ciclo de aprendizaje de indagación científica, se proponían diversas tareas a realizar por parte de los estudiantes, lo que no permitió dedicar un tiempo más razonable para su desarrollo y el intercambio de opiniones y construcción colectiva de cierta manera se vio restringido.

Al implementar la secuencia de enseñanza y aprendizaje en un horario extra al de la asignatura, sólo participaron de este estudio estudiantes voluntarios de la asignatura de didáctica de la biología. En este sentido, como desafío posterior, proyecto implementar esta secuencia de enseñanza y aprendizaje de manera presencial y abarcar la totalidad de los estudiantes del curso, como así mismo, considerar todas las limitaciones que se presentaron para poder mejorarla y sacar un mayor provecho a los alcances identificados.

Agradecimientos: Este trabajo se hace parte del Proyecto Fondecyt 1180619, financiado por la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) del Gobierno de Chile.

Bibliografía

- Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné Episteme y Didaxis: TED*, (36).
- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación química*, 23, 248-256.

- Adúriz-Bravo, A., & Izquierdo, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(3), 40-49.
- Alvarado, G., Rivas, S., & Ochoa de Toledo, M. (2012). Diseño Instruccional con enfoque Ciencia Tecnología y Sociedad (CTS) para la enseñanza del contenido del Sistema Nervioso. *Revista de Investigación*, 36(77), 125-146.
- Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research? *Educational Researcher*, 41(1), 16-25.
- Aragón, L., Jiménez-Tenorio, N., Oliva-Martínez, J. M., & Aragón-Méndez, M.M. (2018). La modelización en la enseñanza de las ciencias: criterios de demarcación y estudio de caso. *Revista Científica*, (32), 193-206.
- Aramburú, M. (2004). Relaciones entre el desarrollo operatorio, las preconcepciones y el estilo cognitivo. *Revista Iberoamericana de Educación*, 33(8), 1-16.
- Armstrong, M., Dopp, C., & Welsh, J. (2018). Design-Based Research. In R. Kimmons, *The Students' Guide to Learning Design and Research*. EdTech Books. Retrieved from https://edtechbooks.org/studentguide/design-based_research
- Audesirk, T., Audesirk, G., & Byers, B. (2003). *Biología La Vida en la Tierra*. México: Editorial Pearson Educación
- Barret, K., Barman, S., Boitano, S., & Brooks, H. (2013). *Ganong Fisiología Médica*. México: McGraw Hill
- Berne, R. & Levy, M. (2001). *Fisiología* (6a ed.). Madrid: Editorial Mosby-Year.
- Bustamante, E. (2007). *El sistema nervioso: desde las neuronas hasta el cerebro humano*. Medellín. Editorial Universidad de Antioquia.
- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte II). El cambio de concepciones alternativas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 388-402.
- Couso, D. (2012). Las secuencias didácticas en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias: Modelos para su diseño y validación. En Caamaño (Ed) *Didáctica de la Física y la Química*, pp.57-83.
- Cristóbal, C., & García, H. (2013). La indagación científica para la enseñanza de las ciencias. *Horizonte de la Ciencia*, 3(5), 99-104.
- Curtis, H. (2006). *Biología* (6a ed.). Madrid: Editorial Médica Panamericana
- Curtis, H. & Barnes, N. (1999). *Invitación a la Biología*. Madrid: Editorial Médica Panamericana
- Chamizo, J. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. En *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 7(1), 26-41.
- Devés, R. & Reyes, P. (2007). Principios y estrategias del programa de educación en ciencias basada en la indagación (ECBI). *Revista Pensamiento Educativo*, 41(2), 115-131.
- Driver, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 6(2), 109-120.
- Flick, U. (2007). *Introducción a la investigación cualitativa*. Madrid: Morata.
- Flick, U. (2015). *El Diseño de Investigación Cualitativa*. Madrid: Morata.
- Furió, C. (1996). Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alambique*, 7(7), 17.
- Garcés, G. (2018). Implementación de estrategias TIC para la enseñanza del sistema nervioso con estudiantes del grado octavo de la Institución Técnico Comercial La Dorada del Municipio de San Miguel del Departamento de Putamayo. (Tesis Doctoral)
- Gibbs, G. (2012). *El análisis de datos en investigación cualitativa*. Madrid: Morata.
- Gil, D. & Vilches, A. (2001). Una alfabetización científica para el siglo XXI. Obstáculos y propuestas de actuación. *Investigación en la Escuela*, 43, 27-37
- Gómez, A. (2014). Progresión del Aprendizaje basado en Modelos: La enseñanza del Aprendizaje del Sistema Nervioso. *Bio-grafía*, 7(13), 101-107.

- González-García, F., & Tamayo-Hurtado, M. (2000). Sobre el origen de los conocimientos previos en biología: elementos comunes entre el alumnado y los libros de texto. *Revista de Educación de la Universidad de Granada*, 13, 1999-2015.
- Guyton, A. & Hall, J. (2016). *Tratado de Fisiología Médica*. Barcelona: Elsevier
- Harlen, W. (2010). Principios y grandes ideas de la educación en ciencias. [SI: sn], 2009. Disponible en: <http://pt.scribd.com/doc/149587762/Aprendizaje-y-ensenanza-de-ciencias-basados-en-la-indagacion-n#scribd>
- Harlen, W. (2015). Trabajando con las Grandes Ideas de la Educación en Ciencias. *Programa de Educación en Ciencias (SEP) de la Red Global de Academias de Ciencias (IAP)*. Trieste, Italia: Programa de Educación en Ciencias (SEP) de la IAP, 70.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (1994). *Metodología de la Investigación*. México: McGrawHill
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales: Revista de Investigación*, (6), 125-138.
- Jiménez, J. & Perales, F. (2001). Aplicación del análisis secuencial al estudio del texto escrito e ilustraciones de los libros de Física y la Química de la ESO. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), pp.13-19
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Marbà Tallada, A. (2014). Las progresiones de aprendizaje. Una herramienta para pensar en qué y cómo enseñar. *Alambique*, 76(13)
- Martínez, M., Rangel, M., & Cepeda, W. (2015). Contribuciones de los trabajos prácticos en la construcción del concepto sistema nervioso. *Bio-grafía*, 1360-1370.
- Mayan, M. (2001). Una introducción a los métodos cualitativos. Módulo de entrenamiento para estudiantes y profesionales. *Alberta: International Institute for Qualitative Methodology*, 34.
- Mella, O., & Osses, S. (2015). *Métodos y Técnicas Introductorios a la Investigación Científica en Ciencias Sociales y Educación*. Temuco: Ediciones Universidad de la Frontera
- Miller, K. y Levine, J. (2004). *Biología* (5a ed.). Boston: Prentice Hall Internacional/Pearson Educación
- Ministerio de Educación (2012). *Estándares Orientadores para Carreras de Pedagogía en Educación Media Biología*. Santiago de Chile: CIAE-CEPPE. <https://www.cpeip.cl/wp-content/uploads/2016/07/libromediafinal.pdf>
- Ministerio de Educación (2015). Programa de Estudio Tercer año medio Biología. Unidad de Currículum y Evaluación. Santiago de Chile, Chile. <https://bibliotecadigital.mineduc.cl/bitstream/handle/20.500.12365/678/MONO-179.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Educación (2016). Programa de Estudio Octavo básico Ciencias Naturales. Unidad de Currículum y Evaluación. Santiago de Chile, Chile. https://curriculumnacional.mineduc.cl/614/articles-20721_programa.pdf
- Ministerio de Educación (2016). Bases Curriculares 7° básico a 2° medio Ciencias Naturales. Unidad de Currículum y Evaluación. Santiago de Chile, Chile. Unidad de Currículum y Evaluación. Santiago de Chile, Chile https://curriculumnacional.mineduc.cl/614/articles-37136_bases.pdf
- Ministerio de Educación (2019). Programa de Estudio Ciencias para la Ciudadanía para Formación General. Unidad de Currículum y Evaluación. Santiago de Chile, Chile. https://curriculumnacional.mineduc.cl/614/articles-140116_programa.pdf
- Olave, Y., & Martín, G. (2015). Análisis de las concepciones sobre el concepto de sistema nervioso en estudiantes de grado noveno (901) del Colegio Antonio Nariño IED. *Bio-grafía*, 1590-1600.

- Oliva, J. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 5-24
- Oram, R. (2007). *Biología Sistemas Vivos*. México: Editorial McGraw-Hill
- Orozco, C., & Urrea, A. (2017). Análisis de las ideas previas acerca del sistema nervioso en estudiantes de grado octavo. *Bio-grafía Escritos sobre la biología y su enseñanza*, 1026-1033.
- Plomp, T., & Nieveen, N. (2007). An introduction to educational design research. In *Proceedings of the seminar conducted at the East China Normal University, Shanghai (PR China)* (Vol. 23).
- Programa ECBI. Chile (2015). Educación en Ciencias basada en la Indagación. Disponible en: <http://www.ecbichile.cl/home/metodo-indagatorio/>
- Quintanilla, M., Labarrere, A., Santos, M., Cádiz, J., Cuellar, L., Saffer, G., & Camacho, J. (2006). Elaboración, validación y aplicación preliminar de un cuestionario sobre ideas acerca de la imagen deficiencia y educación científica. *Boletín de Investigación Educativa*, 21(2), 103-132.
- Ranaweera, S. & Montplaisir, L. (2010). Students' illustrations of the human nervous system as a formative assessment tool. *Anatomical Sciences Education*, 3(5), 227-233.
- Rapley, T. (2014). *Los análisis de la conversación, del discurso y documentos de investigación cualitativa*. Madrid: Morata.
- Reyes-Cárdenas, F. & Padilla, K. (2012). La indagación y la enseñanza de las ciencias. *Educación química*, 23(4), 415-421.
- Rodríguez, G., Gil, J., & García, E. (1996). *Métodos de la investigación cualitativa*. Málaga: Aljibe.
- Rodríguez, G., Gil, J., & García, E. (1999). Enfoques en la investigación cualitativa. *Metodología de la investigación cualitativa*. Málaga: Aljibe.
- Rodríguez, J. (2003). Paradigmas, enfoques y métodos en la investigación educativa. *Investigación educativa*, 7(12), 23-40.
- Sampieri, R. H. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill México.
- Sanmartí, N. (2005). La unidad didáctica en el paradigma constructivista. En: D. Couso E, Cadillo G, Perafán A, Adúriz-Bravo, Editores. *Unidades didácticas en Ciencias Experimentales*. Barcelona: Magisterio, 13-58.
- Slominski, T., Momsen, J., & Montplaisir, L. (2017). Drawing on student knowledge of neuroanatomy and neurophysiology. *Advances in Physiology Education*, 41(2), 212-221.
- Talanquer, V. (2013). Progresiones de aprendizaje: promesa y potencial. *Educación química*, 24(4), 362-364.
- Vasilachis de Gialdino, I. (coord.) (2006) Ameigeiras, A.R.; Chernobilsky, L.B.; Giménez Béliveau, V.; Mallimaci, F; Mendizábal, N.; Neiman, G.; Quaranta, G. y Soneira, A, J. *Estrategias de Investigación Cualitativa*. Barcelona: Gedisa
- Zabala, A. (2000). *La práctica educativa. Cómo enseñar*. Barcelona: Graó
- Zheng, L. (2015). A systematic literature review of design-based research from 2004 to 2013. *Journal of Computers in Education*, 2(4), 399-420.