

**LOS PECES TEMBLADORES Y TORPEDOS, UNA CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DEL  
IMPULSO NERVIOSO.**



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA  
NACIONAL**

*Educadora de educadores*

Presentado por:  
**GINA MARCELA ROBAYO VÉLEZ**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES  
BOGOTÁ D.C.**

**2023**

**LOS PECES TEMBLADORES Y TORPEDOS, UNA CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DEL  
IMPULSO NERVIOSO.**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN DOCENCIA DE LAS  
CIENCIAS NATURALES**

Presentado por:

**GINA MARCELA ROBAYO VÉLEZ**

Asesores:

**SANDRA SANDOVAL OSORIO  
JOSÉ FRANCISCO MALAGÓN SÁNCHEZ  
JUAN ALBERTO ALDANA GONZÁLEZ**

**Línea de investigación: La enseñanza de las ciencias desde una perspectiva  
fenomenológica.**

**Grupo de investigación: Estudios histórico-críticos y enseñanza de las ciencias EHC^EC**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES  
BOGOTA D.C.**

**2023**

*Agradecimientos*

*A mi madre, tu amor, apoyo y paciencia son mi más grande tesoro.*

*A mi padre, aún recuerdo lo que nos decías, te extraño.*

*A las increíbles personas que conocí en esta maestría, chicas gracias por su amistad y por no dejarme caer, las quiero.*

*Profe Sandra, Francisco y Juan gracias por sus enseñanzas, por su infinita paciencia y dedicación.*

*A mis niños de quinto, su pasión, felicidad y avidez por conocer son una motivación permanente.*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES SOBRE LA ENSEÑANZA Y DISEÑO DE ACTIVIDADES RELACIONADAS CON EL IMPULSO NERVIOSO EN EL AULA. ....</b>	<b>2</b>
<b>CONTEXTO PROBLEMÁTICO.....</b>	<b>5</b>
<b>OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>7</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>7</b>
<b>PROCEDER METODOLÓGICO.....</b>	<b>8</b>
<b>Unos Peces muy Extraños. La Perspectiva Fenomenológica del Impulso Nervioso. ....</b>	<b>8</b>
<b>Los Peces Eléctricos en el Aula, un Fenómeno Provocado.....</b>	<b>9</b>
<b>La Experimentación.....</b>	<b>12</b>
<b>Modelos Sobre el Impulso Nervioso .....</b>	<b>13</b>
<b>Construcción de Explicaciones Sobre el Impulso Nervioso .....</b>	<b>14</b>
<b>SOBRE LOS PECES ELÉCTRICOS.....</b>	<b>15</b>
<b>Pez Torpedo y Anguila Sudamericana. ....</b>	<b>15</b>
<b>RECONSTRUYENDO EL PRESENTE. ....</b>	<b>19</b>
<b>La Característica Eléctrica del Impulso Nervioso .....</b>	<b>19</b>
<b>¿Qué Rol Desempeña el Pez Torpedo y la Anguila Suramericana Con la Característica Eléctrica? .....</b>	<b>21</b>
<b>¿Tienen algo en común los generadores eléctricos y el pez Torpedo? .....</b>	<b>22</b>
<b>La Electricidad Animal.....</b>	<b>29</b>
<b>Instrumentos y Gráficas, un Camino Hacia la Descripción del Impulso.....</b>	<b>35</b>
<b>Contracciones Inducidas, Más Cerca de Una Descripción Del Impulso Nervioso.....</b>	<b>37</b>
<b>¿La variación Negativa ¿Por qué es importante? .....</b>	<b>39</b>
<b>Otras Características Del Impulso.....</b>	<b>44</b>
<b>¿Por Qué Hablar de Nervios y no de Neuronas?.....</b>	<b>45</b>
<b>TEMBLADORES Y TORPEDOS, UN CAMINO HACIA EL IMPULSO NERVIOSO. (Diseño de la intervención.).....</b>	<b>47</b>
<b>SESIÓN 1. “ANGUILAS SUPERPODEROSAS” FICCIÓN O REALIDAD.....</b>	<b>49</b>
<b>SESIÓN 2. ACTUANDO COMO PECES.....</b>	<b>50</b>
<b>SESIÓN 4. UN ENCUENTRO CON EL PEZ TORPEDO .....</b>	<b>52</b>

<b>SESIÓN 5. LOS CORDONES NERVIOSOS.....</b>	<b>55</b>
<b>SESIÓN 6. MÁS QUE SIMPLES CABLES, UNA DISTINCIÓN ENTRE LOS NERVIOS Y LOS CABLES DE UN CIRCUITO.....</b>	<b>57</b>
<b>SESIÓN 7. ¿CÓMO SE GENERA ESA CORRIENTE ELÉCTRICA EN LOS HUMANOS Y OTROS ANIMALES, SI NO TENEMOS ÓRGANOS ELÉCTRICOS?.....</b>	<b>58</b>
<b>SISTEMATIZACIÓN DE TEMBLADORES Y TORPEDOS.....</b>	<b>60</b>
<b>Sobre la Sesión 2. Actuando Como Peces.....</b>	<b>64</b>
<b>Sesión 3. Sobreviviendo al ataque. ¿Qué se siente ser atacado por una anguila?.....</b>	<b>66</b>
<b>Acerca del Encuentro Con el Pez Torpedo. Sesión 4.....</b>	<b>67</b>
<b>Construcción de Los Órganos Eléctricos Artificiales.....</b>	<b>67</b>
<b>Sobre los Cordones Nerviosos. Sesión 5.....</b>	<b>75</b>
<b>Sesión 6. Más Que Cables.....</b>	<b>77</b>
<b>Sesión Final.....</b>	<b>81</b>
<b>REFLEXIONES SOBRE LA INTERVENCIÓN EN EL AULA.....</b>	<b>83</b>
<b>REFLEXIONES SOBE EL IMPULSO NERVIOSO DESDE LA PERSPECTIVA DE LA AUTORA... 84</b>	<b>84</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO 1. CUENTOS DE LA SESIÓN 1.....</b>	<b>93</b>
<b>UN CONTRINCANTE INESPERADO. TEMBLADORES.....</b>	<b>93</b>
<b>EL IMPERIO EN MANOS DE UN SOLO HOMBRE.....</b>	<b>94</b>
<b>EL CIRCO DE <i>ROCHÉ</i>.....</b>	<b>96</b>
<b>Anexo 2. HISTORIAS CORTAS DE LA SESIÓN 2.....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO 3. PEZ ELÉCTRICO.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO 4. MONTAJES DE LA SESIÒN 6.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO 5. SESION 7.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 8. ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR ALGUNOS ESTUDIANTES.....</b>	<b>101</b>

#### **LISTADO DE TABLAS**

Table 1. Descripción de la sesión 1.....	49
Table 2. Descripción de la sesión 2 y propósito de la actividad.....	50
Table 3 Descripción de la sesión 3 y propósito de la actividad.....	51
Table 4 Descripción de la sesión 4 y propósito de la actividad.....	52

Table 5 Descripción de la sesión 5 y propósito de la actividad.....	55
Table 6 Descripción de la sesión 6 y propósito de la actividad.....	57
Table 7 Descripción de la sesión 7 y propósito de la actividad.....	58
Table 8 sistematización de la sesión 1.....	61
Table 9 Sistematización de la sesión 2.....	64
Table 10 En esta tabla se sintetizan las impresiones observadas por la maestra sobre la experiencia de los estudiantes al ver el video e interactuar con el aparato de gimnasia pasiva. ....	66
Table 11 Respuestas de los estudiantes durante y después de la construcción de las pilas de volta. ....	68
Table 12 En esta tabla se muestran algunos dibujos realizados por los estudiantes y se presentan las relaciones que escribieron los estudiantes entre los órganos eléctricos y las pilas de Volta. ....	70
<i>Table 13 Aspectos extraídos de las respuestas de los estudiantes a tres preguntas sobre el funcionamiento de los peces eléctricos. ....</i>	<i>75</i>
Table 14 Características extraídas de las respuestas de los estudiantes a dos preguntas sobre el funcionamiento de los nervios en los animales. ....	76
Table 15 En la siguiente tabla se recogen algunos comentarios de los estudiantes sobre la siguiente pregunta; ¿Los nervios funcionan igual que los cables? .....	77
Table 16 Características encontradas en las respuestas de los estudiantes a las 2 preguntas propuestas.....	81

## LISTADO DE IMÁGENES

<b>IMAGEN 1 Izquierda.</b> Despolarización simultánea de las membranas inervadas en una pila de electroplacas. <b>Derecha:</b> los electrocitos dispuestos en serie (filas) suman sus voltajes. ....	16
<b>IMAGEN 2 Izquierda:</b> organización anatómica del pez eléctrico. <b>Derecha:</b> órganos eléctricos de la angula eléctrica.....	17
<b>IMAGEN 3 Izquierda:</b> Estructura del órgano eléctrico y las columnas de electrocitos en él.. <b>Derecha:</b> órganos eléctricos con inervaciones y estructuras del sistema nervioso. ....	18
<b>IMAGEN 4</b> Disección longitudinal y vista transversal de los órganos eléctricos de un pez torpedo. <b>Superior izquierda:</b> órgano eléctrico mostrando las columnas de electroplacas, corte longitudinal y sección transversal del Torpedo. ....	20
<b>IMAGEN 5</b> Componentes de la máquina electrostática. ....	23
<b>IMAGEN 6</b> Representación de los experimentos de Walsh con materiales conductores y aislantes. 23	
<b>IMAGEN 7</b> Representación del experimento de Walsh creando un circuito entre el pez torpedo y varias personas entrelazadas por medio de cubetas de agua salada. ....	25
<b>IMAGEN 8</b> Representación del experimento de la chispa con la anguila Sudamérica.....	26
<b>IMAGEN 9</b> Pez torpedo artificial, realizado por Cavendish. ....	28
<b>IMAGEN 10</b> Representación de la primera observación de Galvani. máquina eléctrica de fricción y preparación neuromuscular de un anca con un gancho metálico insertado en la médula espinal. ....	29
<b>IMAGEN 11</b> Experimentaciones con los arcos metálicos tocando en distintas partes la médula espinal, los nervios curales y los músculos.....	30

<b>IMAGEN 12 a.</b> Experimento de 1794. Cuando la superficie de la sección del nervio toca el músculo, la pierna se contrae; <b>b.</b> Experimento de 1797: cuando la superficie de la sección del nervio ciático derecho toca la superficie intacta del nervio ciático izquierdo, ambas piernas se contraen. ....	31
<b>IMAGEN 13</b> Contracciones generadas en un anca de rana al formar un circuito entre dos personas tomadas de la mano.....	32
<b>IMAGEN 14</b> Vista superior del sistema cerebro espinal del pez torpedo.....	32
<b>IMAGEN 15</b> Ilustración de la pila de volta.....	34
<b>IMAGEN 16</b> Galvanómetro astático. Matteucci 1844.....	35
<b>IMAGEN 17</b> Pilas de Matteucci con músculos de rana y anguila.....	36
<b>IMAGEN 18</b> Montaje que da paso a la idea de una corriente de acción.....	38
<b>IMAGEN 19</b> Nervio isquial de rana registrando distintas cargas.....	39
<b>IMAGEN 20</b> Descripción de los componentes y funcionamiento del qimografo. ....	41
<b>IMAGEN 21</b> Trazo formado al estimular el nervio asociado a un musculo de pantorrilla.....	42
<b>IMAGEN 22</b> descripción de montaje realizado por Helmholtz inspirado en el inspirado en el método de medición balístico de Pouillet.....	43
<b>IMAGEN 23</b> Descripción de los componentes y funcionamiento del reotomo diferencial. ....	43
<b>IMAGEN 24</b> Aparato de gimnasia pasiva utilizado con los niños. ....	51
<b>IMAGEN 25</b> Pez eléctrico artificial construido por la autora. ....	53
<b>IMAGEN 26</b> Superior: materiales para la construcción de la pila de Volta. Inferior: aula de clase....	54
<b>IMAGEN 27</b> Pilas de Volta construidas por los niños.....	54
<b>IMAGEN 28</b> Circuitos de pilas en paralelo y en serie.....	55
<b>Imagen 29 izquierda:</b> imagen de los nervios, la medula y el cerebro del pez torpedo. <b>derecha:</b> imágenes sobre los nervios en una persona y un gato. ....	56
<b>IMAGEN 30</b> Montajes para trabajar sobre las distinciones entre los cables y los nervios.....	57
<b>IMAGEN 31</b> Montaje 3. Transmisión secuencial de la señal a través de un líquido conductor (agua salada).....	58
<b>IMAGEN 32</b> Representación de cordón nervioso, la copa representa el en interior de cordón y el vaso el medio externo del cordón. ....	59
<b>IMAGEN 33</b> Pilas de volta construidas por 3 grupos diferentes. ....	68
<b>IMAGEN 34</b> Pila de volta construida por los estudiantes. ....	69
<b>IMAGEN 35</b> Circuitos cerrados realizado por los estudiantes, utilizando las manos como conductores de la corriente.....	70
<b>IMAGEN 36</b> Superior: montaje uno accionado por un estudiante. <b>Inferior:</b> montaje uno cerrado después de la reacción en cadena. ....	79
<b>IMAGEN 37</b> Montaje 3 de la sesión 6. ....	80
<b>IMAGEN 38 Superior:</b> los bombillos no encienden por estas sumergidos únicamente en agua salada. <b>Inferior:</b> lo bombillos encienden debido al ingreso de agua salada por medio de los agujeros de la copa. ....	82

## INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo desarrollado en el programa de Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, es el resultado de una caracterización eléctrica del impulso nervioso como fenómeno de interés, que busca tomar elementos de orden histórico y disciplinar para construir una versión propia del fenómeno y posibilitar la construcción de explicaciones en el contexto escolar; utilizando los efectos de los peces eléctricos como puentes para permitir el desarrollo de nuevas comprensiones sobre el impulso, tanto para la autora, como para el grupo de estudiantes donde fue desarrollado.

En el contexto problemático de este trabajo se exploran las razones para abordar el fenómeno de interés, señalando que la representación actual que tiene esta docente sobre el impulso nervioso no le es satisfactoria, en tanto, se limita a repetir las representaciones de otros, no porque estén mal o sean incorrectas, sino porque se desaprovecha la oportunidad de diseñar actividades en las cuales se ponen en juego distintas situaciones experimentales que hacen que el sujeto construya el fenómeno y con ello relacionarlo con otras experiencias de la maestra, expresarlo en un lenguaje personal, transformarlo y cuestionarlo; además, la repetición pueden reforzar la percepción del impulso y de la ciencia como verdades inmutables, en lugar de entenderlos como fenómenos susceptibles de transformación. Esto, ha llevado a la necesidad de construir una nueva organización sobre el impulso y explorarlo no solo a través de la indagación histórica y disciplinar, sino también de la experiencia de la maestra, de sus intereses, inquietudes y del contexto escolar donde se desempeña.

Teniendo en cuenta lo anterior, se propone el siguiente objetivo general: *Profundizar en aspectos de orden histórico, epistemológico y disciplinar sobre la característica eléctrica del impulso nervioso, considerando los efectos eléctricos de la anguila Sudamérica y los peces torpedo como un camino para problematizar el fenómeno.*

El siguiente apartado, trata aspectos del proceder metodológico, donde se presentan las razones para abordar el impulso nervioso como un fenómeno, entendiendo que este no está oculto, sino que pasa por una organización, análisis y estructuración distinta, debido a que es experimentado por otras personas, también por los lugares donde ocurren y los vínculos que se forman durante la experiencia; además se resalta la relevancia del análisis histórico crítico, la

construcción de explicaciones, la modelización y la experimentación como elementos que permiten reconstruir el fenómeno.

En seguida, se presenta un preámbulo sobre algunas características de los peces eléctricos y su mecanismo de choque, que sirven como marco para comprender algunos aspectos tratados en el capítulo del análisis histórico crítico, que tiene un fuerte protagonismo en este trabajo, ya que detona, transforma y se configura como un elemento estructurante de la reconstrucción y transformación del impulso, así como de la intervención en el aula. En este capítulo se profundizó en varios aspectos, como la electricidad animal, la medición de corrientes eléctricas en los tejidos nerviosos y musculares, los instrumentos utilizados, la velocidad de transmisión, algunas estructuras y el rol de los peces eléctricos.

Resultado de este análisis histórico crítico, se propuso una intervención en el aula que consistió en siete sesiones desarrolladas con 27 estudiantes de grado quinto del colegio Agustiniانو Ciudad Salitre, donde se buscó generar experiencias que favorecieran la construcción de explicaciones alrededor del impulso nervioso, a través de actividades como lectura de cuentos, interpretación, experimentación y trabajo colectivo.

Finalmente se presenta una sección de reflexiones sobre la reconstrucción de impulso nervioso lograda por la autora, unas reflexiones sobre la intervención en el aula y las consideraciones finales del trabajo.

### **ANTECEDENTES SOBRE LA ENSEÑANZA Y DISEÑO DE ACTIVIDADES RELACIONADAS CON EL IMPULSO NERVIOSO EN EL AULA.**

En esta sección, se presentan los resultados de investigaciones llevadas a cabo en programas de posgrado y pregrado tanto en la Universidad Pedagógica Nacional como en otras universidades de Colombia. El propósito, es identificar el contexto problemático que motiva la realización de estos estudios relacionados con el impulso nervioso. Además, se abordan las reflexiones acerca de las dificultades que surgen al enseñar este concepto en el aula, así como los logros y alcances obtenidos en estas investigaciones.

Se inicia por el trabajo de Angelica María González Novoa (2016) desarrollado en el programa de Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales, titulado *El impulso nervioso como problema*

*de conocimiento*, donde la autora establece que la enseñanza del impulso nervioso en el aula hace referencia a algunos fenómenos que involucran múltiples áreas del conocimiento, donde estos suelen ser simplificados y asignados a una única disciplina, lo que resulta en una comprensión superficial y fragmentada del fenómeno. Reconociendo que el estudio del impulso nervioso y su fisiología abarca aspectos físicos, químicos y biológicos, pero a menudo se presentan en el aula sólo como información para los estudiantes, lo que dificulta su comprensión integral.

Como resultado de la reconstrucción histórica sobre el impulso, encuentra que este concepto no solo es un tema curricular, sino también un problema de conocimiento en el campo de la biología y la enseñanza de las ciencias. Su emergencia reveló un proceso de construcción colectiva en momentos y contextos específicos. Ya no se trataba simplemente de aprender sobre el impulso nervioso, sino también, se convirtió en una herramienta que permitía abordar otros conceptos y cuestionar la manera en que se presentaban los contenidos curriculares. Se propuso su inclusión en el aula para alejarse del enfoque tradicional de transmitir información descontextualizada y en su lugar, fomentar la reflexión y la generación de preguntas por parte de los estudiantes.

Finalmente concluye, que las estrategias utilizadas lograron que los estudiantes consideraran el impulso nervioso como un objeto de estudio, generando sus propias indagaciones, lo que demuestra que se convirtió en un problema de conocimiento para ellos, ayudándoles a desarrollar habilidades importantes para el aprendizaje de las ciencias.

El siguiente trabajo desarrollado por Sara Janneth Quinche Beltrán (2015), titulado *Enseñanza de la transmisión del impulso nervioso desde el contexto de la física, la química y la biología, en octavo grado*. Reconoce la fragmentación en la enseñanza del impulso nervioso, identificando que abordar este tema en el aula implica una serie de desarrollos desde la química, la física y la biología, por consiguiente, presenta un diseño e implementación de una unidad didáctica interdisciplinaria que integra conceptos de las tres disciplinas en relación con el impulso nervioso, basándose en una actividad realizada en años anteriores, solo que esta vez utiliza el enfoque de enseñanza para la comprensión (EpC). Identificando que la selección de los temas se basó en una revisión bibliográfica del desarrollo histórico del impulso nervioso, la evaluación del material didáctico y los resultados previos de recursos pedagógicos, así como la evaluación de los conocimientos previos del grupo de estudiantes.

Como conclusión, menciona que se han observado avances significativos en la comprensión del tema por parte de los estudiantes del grupo de prueba. Estos avances se atribuyen a la incorporación y estudio de conceptos clave como átomos, iones, diferencia de potencial y transporte a través de membranas, que Quinche señala como esenciales para explicar el fenómeno de la transmisión del impulso nervioso, además indica que el trabajo en equipo facilitó el intercambio de conocimientos y el enriquecimiento individual de los estudiantes.

Así mismo, se encuentra el trabajo de pregrado titulado *Propuesta de unidad didáctica como estrategia de enseñanza del potencial eléctrico de la membrana de la neurona para estudiantes de neuropsicología*, desarrollado por Brayan Felipe Farfán Chavarría (2023), donde el investigador identifica que en los procesos de formación de estudiantes de neuropsicología hay una falta de apropiación de los conceptos físicos relacionados con la neurona. Debido a esto diseña una unidad didáctica que se enfoca en explicar procesos fisiológicos neuronales, como el potencial de membrana de la célula nerviosa, utilizando conceptos físicos como el potencial eléctrico y la ley de OHM, a través de experiencias de aprendizaje integradas en una página web que se propone como unidad didáctica.

Aunque este autor no implementó su unidad didáctica, concluye que su trabajo es un recurso para la educación en física, enriqueciendo las herramientas que los estudiantes pueden utilizar para complementar lo visto en sus instituciones educativas, brindando a los docentes un medio para acercar a los estudiantes, al conocimiento eléctrico del potencial de membrana de la neurona de una forma didáctica y amena, esto debido a que las estrategias didácticas desarrolladas a partir de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se configuran como un elemento clave en la enseñanza de las ciencias.

Estos trabajos tienen algunos puntos en común, tales como:

- La necesidad de abordar el impulso nervioso desde un enfoque interdisciplinar.
- La necesidad de superar la comprensión superficial y fragmentada del impulso nervioso, incorporando aspectos físicos, químicos y biológicos en la enseñanza.
- Se destaca la importancia de considerar el impulso nervioso como un problema de conocimiento en la biología y la enseñanza de las ciencias, promoviendo la reflexión y la generación de preguntas por parte de los estudiantes.

- Se resalta la observación de avances significativos en la comprensión del tema por parte de los estudiantes, atribuyendo estos avances a factores como la incorporación de conceptos clave y el trabajo en equipo. También se menciona el uso de recursos tecnológicos para enriquecer el proceso de enseñanza y aprendizaje.

La principal contribución de estas investigaciones a mi trabajo, se centran en encontrar en el impulso nervioso la posibilidad de replantear el ejercicio docente y la idea de ciencia que se presenta. En lugar de fragmentar el conocimiento, se propone una perspectiva integradora que reconoce la complejidad del impulso y su abordaje en el aula desde múltiples campos, como el tecnológico, el cultural y el histórico. Además, estas tesis resaltan el papel del maestro en la construcción de la imagen de la ciencia a través de su práctica, destacando que esta no debe considerarse como algo estático y definitivo, sino como un proceso en constante transformación. En este proceso, los estudiantes interactúan con el impulso, elaboran sus propias conclusiones y pueden establecer conexiones significativas con sus propias experiencias.

### **CONTEXTO PROBLEMÁTICO.**

Explorar el concepto del impulso nervioso va más allá de comprender su mecanismo de acción y naturaleza, también implica una indagación profunda que abarca aspectos biológicos, químicos, físicos, así como aspectos socioculturales, en especial el histórico. Estos aspectos impactan en la formación de nuevas representaciones y perspectivas sobre el fenómeno estudiado, ya que, a menudo la comprensión típica del impulso nervioso se limita a la repetición de conceptos y términos de libros de texto, sin una comprensión clara de los procesos subyacentes.

A lo largo de mi experiencia docente, fue claro que algunos aspectos de mi práctica durante la enseñanza resultan insatisfactorios, por ejemplo, a la hora de comprender el impulso nervioso y organizarlo para llevarlo al aula, en tanto me vi envuelta en la repetición de definiciones que otros han construido a partir de experiencias, contextos y campos de conocimiento muy distintos a los míos. Lo anterior, no quiere decir que las definiciones sean incorrectas, todo lo contrario, la insatisfacción radica en que, al carecer de una representación personal sobre el impulso nervioso, se limitan los vínculos que puedo establecer con otros conocimientos y experiencias propias, ya que no se generan preguntas sobre ellos, no se los cuestiona o se los pone a prueba.

En este contexto, se refuerza la noción de conocimiento y de ciencia como algo estático y establecido por otros, donde el saber se considera una entidad terminada y los docentes fungen como administradores de ese conocimiento. Para romper con esta dinámica, es esencial considerar un enfoque que permita la transformación de las ideas iniciales sobre el impulso nervioso, la reconstrucción del fenómeno y la experimentación, es decir, un proceso de construcción activa, en lugar de una mera recepción pasiva a través de los sentidos. Esto implica que el conocimiento no es una entidad que se transmite como un objeto o elemento, sino que se construye de manera activa por parte del sujeto consciente.

Lo anterior, despierta el interés por crear una representación renovada del impulso nervioso, donde las descripciones, representaciones y relaciones se fundamenten en las construcciones realizadas por la autora, utilizando un lenguaje que le sea significativo. De esta manera, se trasciende la repetición de términos y se transforman en experiencias auténticas que faciliten la comprensión de un fenómeno en constante cambio.

Tras realizar una indagación preliminar sobre los aspectos históricos relacionados con el fenómeno, surgen los efectos eléctricos causados por la anguila sudamericana, *Electrophorus electricus* y los peces Torpedo de la familia Torpedinidae, como elementos esenciales en la comprensión de la característica eléctrica del impulso nervioso, en tanto el interés por entender cómo estos animales generan, entumecimientos e incluso la muerte, llevó a situar eventos eléctricos (chispas, sensaciones de corrientazos y formación de circuitos) en organismos, en una época donde estos efectos estaban restringidos a las máquinas. La búsqueda por encontrar respuestas sobre los mecanismos de acción de estos peces desencadenó una mejor comprensión de otros procesos asociados con el impulso nervioso. (En el capítulo histórico crítico se ampliará esta idea)

Tomando en consideración lo anterior, se pretende utilizar el estudio de los efectos eléctricos provocados por estos dos peces, como una situación desencadenante para la construcción de explicaciones sobre el impulso nervioso, primero porque contempla los desafíos epistemológicos e históricos para dichas explicaciones y segundo porque las problematiza, es decir, implica la organización de experiencias, descripciones e interpretaciones que contribuyan a dar cuenta del mismo.

A su vez, la experiencia personal al abordar el impulso nervioso en el aula, especialmente en los grados de primaria genera bastante curiosidad y preguntas en los estudiantes, no obstante, muchas de sus inquietudes persisten, en tanto los términos con los que se definen los

conceptos y las experiencias que se utilizan para ejemplificar, usualmente no tienen precedentes o relaciones con el bagaje experiencial de los niños, por ejemplo términos como: potencial eléctrico, membrana plasmática o el mismo impulso nervioso son conceptos nuevos para ellos.

Esto lleva a pensar el contexto escolar como un escenario donde la construcción de explicaciones sobre el impulso nervioso puede superar la repetición de información sin sentido o contexto, que lleve a buscar otros mecanismos y a generar experiencias diversas donde los fenómenos sean vivenciados, cuestionados, reconstruidos, y reformulados, de manera que los jóvenes puedan construir su propia idea sobre el impulso.

Asimismo, a través de esta propuesta, se busca promover el desarrollo de habilidades y cualidades en los niños que enriquezcan su formación en ciencias. Estas habilidades incluyen la realización de observaciones detalladas, la formulación de explicaciones basadas en sus propias experiencias y la conexión con otros conocimientos, la participación en discusiones colectivas, la exploración de diversos enfoques para comprender un fenómeno y la adaptación de experimentos para explorar otros fenómenos relacionados, así como, la comunicación de sus ideas. Además, este trabajo sitúa a los niños en un rol activo respecto a la construcción de su propio conocimiento, ya que este no se transmite pasivamente, sino que se construye a partir de las experiencias y las relaciones que establecen con otros niños en el grupo.

Considerando lo anterior se plantearon los siguientes objetivos:

### **OBJETIVO GENERAL.**

Profundizar en aspectos de orden histórico, epistemológico y disciplinar sobre la característica eléctrica del impulso nervioso, considerando los efectos eléctricos de la anguila sudamericana y los peces torpedo como un camino para problematizar el fenómeno.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Elaborar una explicación sobre la naturaleza eléctrica del impulso nervioso acudiendo a textos científicos que expliciten las consideraciones de orden disciplinar, históricas y epistemológicas que sustentan la actividad docente.

- Diseñar e implementar una propuesta de aula que promueva la construcción de explicaciones sobre el impulso nervioso a partir de los efectos de los peces eléctricos.

### **PROCEDER METODOLÓGICO.**

Preguntarse sobre el impulso nervioso es un ejercicio que busca la comprensión no sólo de los elementos disciplinares asociados al evento, sino que pretende convertirse en un ejercicio reflexivo donde se ponga de manifiesto las preguntas que se plantea el maestro, las explicaciones que elabora a partir de su saber disciplinar y su experiencia, además del contexto en el que se desempeña, los intereses y objetivos que busca imprimir a su práctica docente.

Considerando lo anterior, en este capítulo se abordan aspectos relacionados con la perspectiva fenomenológica para abordar el impulso nervioso, la construcción de explicaciones, la experimentación y la modelización como elementos que permitan dar cuenta del impulso.

#### **Unos Peces muy Extraños. La Perspectiva Fenomenológica del Impulso Nervioso.**

¿Por qué un fenómeno? Como lo menciona Francisco Malagón, María Mercedes Ayala y Sandra Sandoval (2013), un fenómeno es aquello que aparece ante una conciencia, es decir una persona, un estudiante o un maestro que tiene una historia de vida y con ella unas formas de interpretar, pensar y comprender las situaciones a las que se enfrenta. Una perspectiva fenomenológica entonces pasa por la organización, análisis y estructuración de un fenómeno que lleva a vislumbrar cómo es comprendido, además, “El investigador contextualiza las experiencias en términos de su temporalidad (momento en que sucedieron), espacio (lugar en el cual ocurrieron), corporalidad (las personas que las vivieron) y el contexto relacional (los lazos que se generaron durante las experiencias).” (Sampieri, 2006, p.494)

Las descripciones e interpretaciones que demanda la comprensión de una fenomenología exigen la organización de una serie de experiencias y observaciones intencionadas, una descripción detallada del fenómeno que está imbricada en la

actividad experimental, actividad que, a su vez, exige una comprensión conceptual que acompañe a la intervención y disposición experimental.” (Sandoval et al, 2018, p.19)

Con esto en mente, la perspectiva fenomenológica que aquí se presenta, busca desarrollar una serie de experiencias intencionadas alrededor del impulso nervioso que involucran la lectura de textos primarios sobre los peces eléctricos, el impulso y la instrumentación creada a lo largo de la historia, además, se considera la selección de criterios sobre el fenómeno para la reconstrucción de la experiencia sobre el impulso, el uso del lenguaje consciente e intencionado para dar cuenta del mismo y el desarrollo de experiencias prácticas en la intervención en el aula, con ello surge la siguiente pregunta:

- ¿Qué aspectos sobre los efectos de los peces eléctricos funcionan como una analogía para hablar del impulso nervioso?

Es relevante señalar que, en las primeras etapas de desarrollo de este trabajo, los peces eléctricos desempeñaron un papel fundamental en la comprensión del impulso nervioso. Estos peces emergen de manera recurrente en las narrativas, experimentos e hipótesis que eventualmente condujeron a la consolidación de muchas de las características históricas del impulso, en especial el surgimiento de una nueva electricidad atribuida a los organismos, sin la cual aspectos como el registro de corrientes en tejidos, la distinción entre diferentes momentos del impulso y la medición de su velocidad no tendría cabida. Esto representa una transformación inicial en la percepción del fenómeno; ya no se limita a ser una señal eléctrica propagada en una neurona, sino que se extiende a otros organismos a través de los efectos generados por estos animales. Por lo tanto, el fenómeno se amplía y permite establecer conexiones con otros eventos que previamente no habían sido considerados.

### **Los Peces Eléctricos en el Aula, un Fenómeno Provocado.**

Los peces eléctricos en el aula son parte del desarrollo de una fenomenología intencional sobre el impulso nervioso, ya que estos organismos son impuesto en el desarrollo de las experiencias del aula y los estudiantes naturalmente no asocian el fenómeno con estos animales, lo que no quiere decir que la experiencia no sea válida, por el contrario es un ejercicio donde la interacción de los estudiantes con el fenómeno tiene una intención que puede llevarlos a construir una idea sobre el impulso.

Cuando la base fenomenológica es provocada se llevan efectos sensibles que antes no se contemplaban a una esfera de experiencias organizadas, por lo que es necesario, nuevamente, hacer la exigencia de comprensión que induce a otras organizaciones, limitaciones y descripciones de las relaciones que se están construyendo. Podemos decir, entonces, que la experiencia de la que hablamos en la enseñanza de las ciencias no es caótica, desordenada o imprecisa: la experiencia ordenada es aquella en la que nos apoyamos para producir preguntas y orientar dinámicas de nuevas comprensiones de las fenomenologías. (Sandoval et al, 2018, p.15)

De ahí, que una parte de este trabajo sea organizar una serie de actividades intencionadas, que orienten la construcción de una fenomenología sobre el impulso nervioso a través de preguntas, experimentaciones, elaboraciones e interpretaciones sobre los efectos de los peces eléctricos, que le aporten al estudiante experiencias para dar cuenta del fenómeno.

Una parte fundamental del proceso de construcción del fenómeno del impulso nervioso radica en la revisión de los trabajos y desarrollos realizados por destacados científicos a lo largo de la historia. En consecuencia, en el siguiente segmento se indagarán los aportes que puede ofrecer un análisis histórico crítico a esta investigación.

### **Transformando el Presente a Partir del Pasado. (Aportes del estudio histórico crítico)**

El impulso nervioso como fenómeno adquiere otros rasgos más allá de la descripción de sus características físicas, químicas o biológicas que indiscutiblemente apelan a la historicidad de este evento, ya que involucra los intereses y el contexto social e intelectual del momento en el que fueron desarrollados. Una perspectiva humanizada de la construcción de conocimiento, donde se hace evidente que el fenómeno no surge dado y completo, sino que se genera y transforma en comunidad, además apunta a una perspectiva de ciencia menos dogmática que presenta el conocimiento como una reconstrucción cultural del saber científico.

Por ejemplo, Fredy Ramon Garay (2011) resalta la importancia de contemplar el rol de los personajes históricos, los instrumentos, los métodos y textos, ya que contribuyen a considerar la ciencia como un proceso de reconstrucción cultural del conocimiento científico. En este

contexto, la ciencia se presenta como una construcción que está inmersa en la vida cotidiana y mantiene una interacción constante con esta. Se trata de un proceso dinámico y cíclico que parte de la realidad y regresa a ella con modificaciones, reestructuraciones, así como nuevas demandas y necesidades. Este proceso es llevado a cabo por seres humanos que poseen habilidades, aptitudes y actitudes que les permiten construir, reconstruir, formular y proponer distintas formas de observar, explicar y comprender el mundo.

A su vez, María Mercedes Ayala (2006) reconoce en los estudios históricos un papel formador en el maestro, quien reconstruye permanentemente la historia a través de las lecturas que hace del pasado, las posturas con las que lo aborda y la intencionalidad que motivan su indagación.

se trata más bien de establecer un diálogo con los autores a través de los escritos analizados, con miras a construir una estructuración particular de la clase de fenómenos abordados y una nueva mirada que permita ver viejos problemas con nuevos ojos (proceder característico de la construcción de formas alternativas de representación). Es pues un diálogo y una construcción intencionada que intenta, además, establecer nexos con el conocimiento común, dada la perspectiva pedagógica que lo anima. (Ayala, 2006, p. 29)

Es a partir del estudio histórico crítico que la perspectiva sobre el impulso nervioso puede cobrar una imagen distinta, de cierto modo resignificando para esta maestra muchos de los eventos que tiene lugar durante el impulso, por ejemplo el potencial de reposo o el potencial de acción, al reconocer las preguntas, los experimentos, las publicaciones y los retos que llevaron a personajes como Carlo Matteucci o Henry du Boi Reymond a describirlos; también se trata de un ejercicio de reconstrucción significativa del fenómeno, porque aborda no solo el aspecto disciplinar, sino que se configura como un elemento para replantear la experiencia en el aula.

En el ejercicio de explorar el trabajo de diversos autores, se revelan los avances, la instrumentación y los métodos de investigación empleados por estos investigadores para caracterizar el fenómeno del impulso nervioso. Este enfoque aporta una dimensión significativa que da lugar a nuevas perspectivas en la construcción de este fenómeno. La docente, al explorar estos experimentos, tiene la oportunidad de adaptarlos o utilizarlos como fuente de inspiración para desarrollar nuevas ideas. Por lo tanto, en este trabajo se destacarán aspectos esenciales relacionados con la experimentación en este contexto

## **La Experimentación.**

En línea con el desarrollo de este trabajo, la actividad experimental también tiene lugar para dar cuenta del impulso nervioso, como una forma de enriquecer la experiencia sobre el fenómeno, como lo menciona Malagón et al (2013) dinamiza la teorización de la experiencia, transformándola y permitiendo la elaboración de nuevas explicaciones. Ya sea con la integración de un marco conceptual, proporcionando experiencias sensibles, vinculando las experiencias previas a nuevos desarrollos, o estableciendo criterios para diseñar experimentos, en síntesis, es una forma de ampliar la experiencia.

A propósito de la experimentación, Cruz Andrea Sosa y Olga Luz Dary Rodríguez (2014) presentan la actividad experimental como una forma de construir al sujeto y apropiarse del conocimiento, en tanto este produce su propia versión del fenómeno al organizar sus experiencias presentes y pasadas según la necesidad de su pensamiento.

Considerando lo anterior, la actividad experimental tiene un componente importante en la ampliación de la experiencia de la autora, ya que algunas de las actividades planteadas tienen una fuerte carga histórica, que parte de una interpretación de los elementos extraídos del estudio histórico, donde además confluyen otros conocimientos y experiencias sensibles que sirven como forma de apropiación del fenómeno a estudiar. Este proceso implica la organización del fenómeno, donde se habla y se lo caracteriza de manera particular; Malagón et al (2013) lo describe como un camino de formalización del fenómeno en tanto se establecen relaciones de orden, mediciones, clasificaciones que en otro momento no se habrían contemplado.

Así mismo, la forma en que se presenta la actividad experimental en el aula también determina una perspectiva sobre la ciencia. En este caso no pretende ser una visión estática e inamovible, donde el experimento se considera simplemente una confirmación de un proceso ya establecido e inmutable, por el contrario, busca concebir la ciencia como una construcción humana en constante evolución, que ha variado a lo largo del tiempo. En este enfoque, es necesario cuestionar los fenómenos y explorar su naturaleza en constante construcción.

En el siguiente apartado, como parte de la construcción histórica, fenomenológica y experimental, se explorarán los aspectos que llevan a considerar el diseño y la construcción de algunos modelos para dar cuenta del impulso nervioso.

### **Modelos Sobre el Impulso Nervioso**

En el transcurso de este trabajo, se construyen modelos representativos de eventos y características relacionadas con el impulso nervioso. Estos modelos se diseñan con el propósito de ofrecer experiencias guiadas y estimular la interacción del fenómeno con los estudiantes, con el fin de explorar características más complejas vinculados al impulso. Algunos autores definen estos modelos como elementos representativos de eventos y características asociadas al fenómeno, ya que, *“son modelos para la enseñanza, diseñados para que el profesor ayude a sus estudiantes a aproximarse al modelo científico. Y podemos decir que son “analógicos” al encontrarse normalmente basados en analogías”* (Aragón et al, 2018, p.196)

A su vez, Olga Lucia Godoy (2018) menciona que los modelos son representaciones del mundo creadas por la mente humana, diseñadas con el propósito de simplificar fenómenos complejos, de esta manera, facilitar su comprensión. Estas representaciones cumplen múltiples funciones en el proceso de aprendizaje. Por un lado, permiten a los estudiantes ilustrar, explicar y predecir fenómenos, brindando una herramienta poderosa para visualizar conceptos abstractos. Además, los modelos posibilitan la comparación y la evaluación de diferentes enfoques, permitiendo a los estudiantes analizar la capacidad de cada modelo para representar con precisión y explicar los patrones presentes en los fenómenos observados. Por último, Godoy menciona que el uso de modelos fomenta la práctica de procesos metacognitivos, lo que significa que los estudiantes pueden reflexionar sobre su propio proceso de pensamiento y mejorar su comprensión y resolución de problemas.

Desde una perspectiva fenomenológica, los modelos se configuran como manifestaciones que reflejan las nuevas conceptualizaciones de la autora respecto al impulso nervioso. Estos modelos no solo abordan la organización de las características y procesos involucrados, considerando las conexiones entre los aspectos históricos y disciplinarios, sino que también tienen la intención de guiar la interacción en el aula; en tanto puede desencadenar experiencias

significativas en los estudiantes, permitiéndoles así construir un entendimiento más profundo del fenómeno.

Sumado a lo anterior, en el siguiente apartado, se abordarán aspectos de la construcción de explicaciones, como un camino hacia la formalización del fenómeno.

### **Construcción de Explicaciones Sobre el Impulso Nervioso**

El impulso nervioso implica el uso de un lenguaje y un conjunto de actividades para comprenderlo. Este proceso se inicia a través de experiencias planificadas, preguntas formuladas deliberadamente y actividades diseñadas específicamente para explorarlo. Dentro de este contexto, la construcción de explicaciones emerge como una actividad para formalizar la construcción y/o comprensión del fenómeno de estudio, no como una forma de verificación de la explicación científica, sino como una manifestación de las relaciones establecidas del fenómeno, es decir entre el conocimiento, la experiencia y el lenguaje.

En Arca, Guidoni & Mazzoli (1990) el lenguaje que se construye a partir de las experiencias de vida desempeña un papel fundamental al permitir que las personas establezcan y comuniquen un conjunto de significados, tanto comunes como particulares en un contexto específico. Estos significados reflejan sus experiencias personales y a partir de ellas, se transforman en conocimiento mediante un proceso de resignificación.

sí experiencia es aquello que se vive en la interacción directa con la realidad, conocimiento es aquello que viene como «desprendido de la realidad misma, y reconstruido, a través de un lenguaje, de manera autónoma. (Yo sé que, si la suelto, mi pluma caerá: éste es para mí un conocimiento, y no solamente una experiencia, precisamente porque logró expresar este hecho en palabras, y logró extenderlo también a otro objeto cualquiera que no he tenido nunca en las manos, ni he visto caer.) A partir del nivel de la experiencia, a través de un lenguaje hecho de palabras y de representaciones (y sin lenguaje no sería posible), se puede, por tanto, construir y controlar algo (a lo que llamamos conocimiento) desprendido tanto de la experiencia como del lenguaje; que no se identifica ni con el hecho individual ni con las palabras que lo describen; que es comunicable a otras personas, que se puede extender a otros

hechos, modificar como consecuencia de otras experiencias, que puede ponerse de nuevo siempre en juego.(Arca et al, 1990, p. 28)

Antonia Candela (1993) a propósito de las construcciones discursivas menciona que la construcción de conocimiento en el aula se caracteriza como un proceso que implica el encuentro de argumentaciones, sirviendo como una forma de negociación y reconstrucción del conocimiento, al mismo tiempo que se mantiene una comunicación efectiva. En este contexto, las expresiones orales que se consideran significativas se desarrollan en un entorno de interacción, surgiendo como productos de una confrontación y diálogo con otros individuos presentes en el aula.

En cuanto a la construcción de explicaciones, este trabajo aborda dos enfoques. El primero se centra en los conceptos desarrollados por la autora en relación con el impulso nervioso y las características que le permiten comprenderlo. Estos aspectos se exploran a través de un análisis histórico crítico, experimentación, modelización y diseño de intervenciones en el aula. El segundo enfoque se refiere a las explicaciones y los elementos que los estudiantes plasman en sus escritos, dibujos, comentarios y actividades en el aula con respecto al fenómeno estudiado.

## **SOBRE LOS PECES ELÉCTRICOS.**

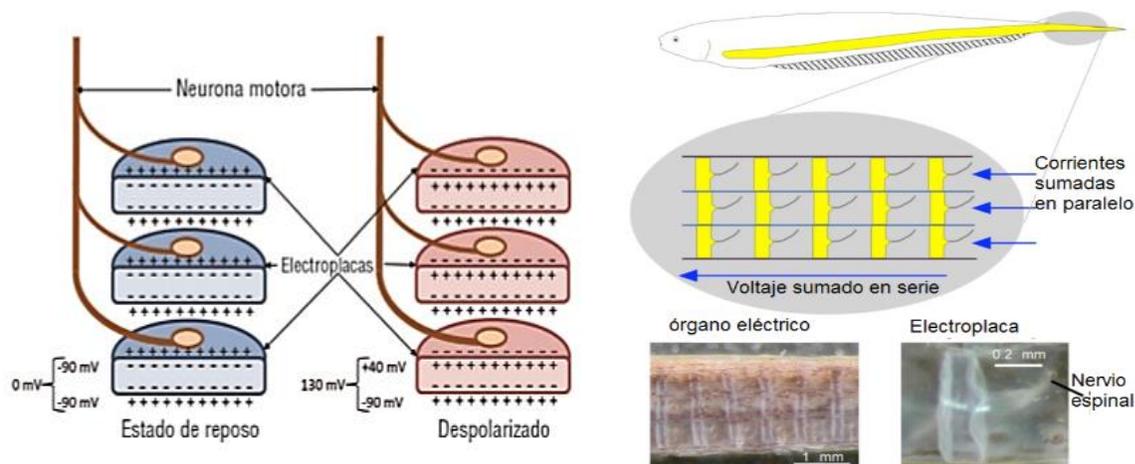
### **Pez Torpedo y Anguila Sudamericana.**

A lo largo de este trabajo se hará alusión a la anguila eléctrica, *Electrophorus electricus* y los peces torpedo de la familia Torpedinidae, así como a las fuertes descargas eléctricas que producen; no se escoge una especie del pez torpedo en particular, en tanto esta comprende más de 20 especies de peces cuya generación de efectos eléctricos no varía significativamente como para considerar centrar la atención en una sola especie; además, se presentarán algunas características morfológicas que le permiten a estos animales generar dichas descargas, de manera que algunos aspectos trabajados en el capítulo histórico crítico puedan ser mejor comprendidos.

Estos organismos se consideran eléctricos, debido a que generan su propio campo eléctrico utilizando uno o varios órganos especializados. Dichos órganos, como señala Espitia (2017),

están formados por apilamientos de aproximadamente cinco mil células musculares planas llamadas electrocitos o electroplacas. Estos electrocitos tienen un lado innervado<sup>1</sup> con alta resistencia eléctrica<sup>2</sup> y otro lado con baja innervación y baja resistencia eléctrica, manteniendo un potencial de membrana<sup>3</sup> en reposo<sup>4</sup> de alrededor de  $-90$  mV. Cuando se produce estimulación, todas las membranas innervadas en una columna de electroplacas se despolarizan<sup>5</sup> conjuntamente a aproximadamente  $40$  mV, generando una diferencia de potencial de unos  $130$  mV a través de cada célula. Debido a que los cinco mil electrocitos están conectados en serie, la diferencia de potencial total es de casi  $650$  V. Para que el choque eléctrico sea efectivo en la caza o la defensa, las electroplacas deben activarse sincrónicamente.

Las velocidades de conducción de las neuronas motoras<sup>6</sup> en un animal varían según la distancia a la que se encuentran de la electroplaca. Las neuronas con axones<sup>7</sup> más largos transmiten señales más rápido que las de axones más cortos, lo que asegura que los estímulos lleguen simultáneamente, independientemente de la distancia a la que se encuentren.



**IMAGEN 1 Izquierda:** despolarización simultánea de las membranas innervadas en una pila de electroplacas. Tomado de: Espitia (2017). **Derecha:** los electrocitos dispuestos en serie (filas) suman sus voltajes, como las baterías en una linterna. múltiples filas de electrocitos suman sus corrientes. tomado y modificado de Stoddard (1999)

<sup>1</sup> Fibras nerviosas vinculadas a un lado de la electroplaca.

<sup>2</sup> La resistencia es la oposición que presentan los cuerpos al paso de la corriente eléctrica. Ley de Ohm Resistencia eléctrica. (s.f.)

<sup>3</sup> Potencial de membrana: La mayoría de las células animales tienen una diferencia de carga eléctrica entre el interior y el exterior de la membrana plasmática, lo que crea un potencial eléctrico. Esta diferencia de carga crea un gradiente de potencial y se denomina potencial de membrana. Es similar a una batería biológica y puede cambiar rápidamente en células excitables como neuronas y células musculares, transmitiendo señales a otras células. (Solomon et al. 2013, p 865)

<sup>4</sup> La diferencia en carga eléctrica a través de la membrana plasmática origina un gradiente de potencial. El voltaje es la fuerza que hace que las partículas cargadas fluyan entre dos puntos. El voltaje medido a través de la membrana plasmática se denomina potencial de membrana (Solomon et al, 203, p 865)

<sup>5</sup> Disminución del potencial de membrana.

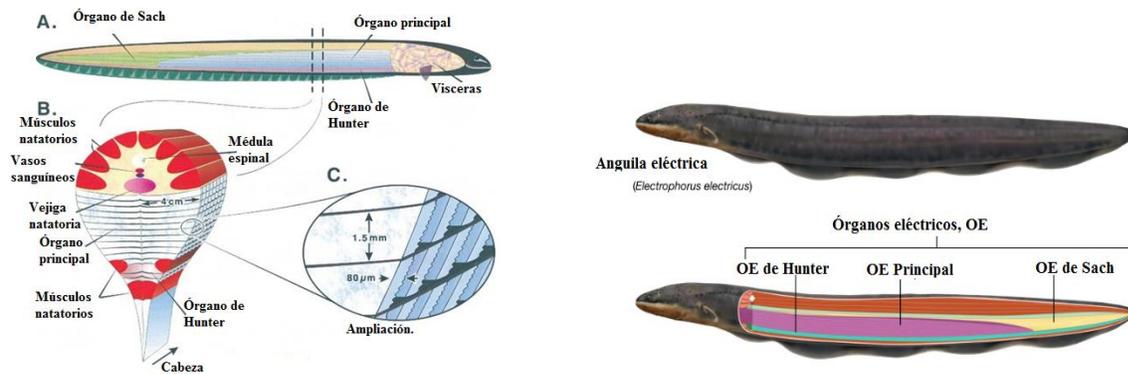
<sup>6</sup> Células nerviosas que envían impulsos nerviosos para controlar la actividad muscular.

<sup>7</sup> Axón: Estructura delgada y alargada de la neurona en ocasiones recubierta por una vaina de mielina, encargada de llevar información desde el cuerpo celular hasta los botones terminales. (Solomon et al, 2011)

Espitia (2017) también señala que las velocidades de conducción de las neuronas motoras varían en función de su distancia con respecto al sistema nervioso central del animal. En otras palabras, dado que las longitudes de los axones de estas neuronas difieren, los axones más largos transmiten señales más rápido que los más cortos. Esto garantiza que los estímulos alcancen su destino simultáneamente, sin importar la distancia a la que se encuentren.

**LA ANGIULA SURAMERICANA. Nombre científico:** *Electrophorus electricus*

**Nombre tradicional:** LA TEMBLADORA.



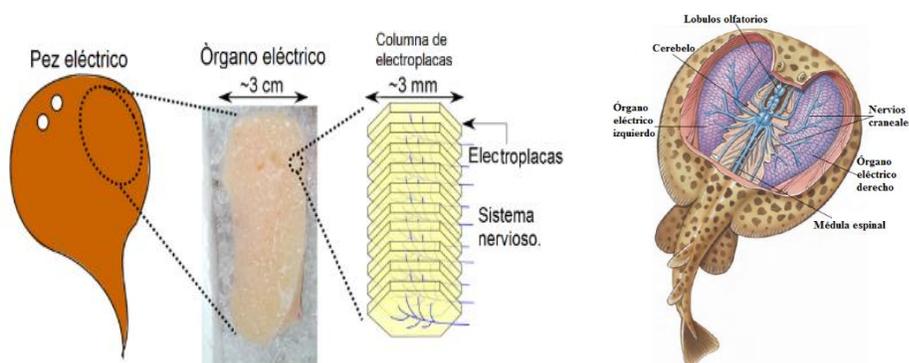
**IMAGEN 2 Izquierda:** A. orientación anatómica del pez eléctrico. B. Sección a través de la porción media de la anguila C. Las columnas de electroplacas se extienden longitudinalmente en el órgano eléctrico. Tomado y modificado de Gotter et al, (2012). **Derecha:** órganos eléctricos de la anguila eléctrica. Tomado de: Enciclopedia Británica (2023)

La anguila eléctrica o Tembladora como se le conoce tradicionalmente, tiene tres órganos eléctricos bien definidos. El órgano principal, que ocupa mayor espacio en el cuerpo del animal esta encargado de generar voluntariamente descargas de alto voltaje; se extiende desde detrás de la cavidad de las vísceras hasta la cola de la anguila. donde finalmente da origen al órgano de Sach; este órgano, junto con el órgano de Hunter, genera descargas repetitivas de bajo voltaje y se cree que participa en la electro-localización de objetos en el entorno de la anguila. (Espitia, 2017)

Los electrocitos de la anguila tienen una disposición y forma distinta a los del torpedo, estas son células grandes en forma de cinta (ver imagen 2, izquierda). Cada electroplaca se extiende lateralmente desde la línea media del órgano eléctrico hasta la piel, una distancia de hasta 4 cm. Tienen un ancho de hasta 1,5 mm y un espesor de 80 µm. Como se ve en la imagen 2 C, los electrocitos se ubican uno tras otro a lo largo de su eje plano para dar lugar a largas columnas rectangulares de células. Estas columnas están delineadas y aisladas eléctricamente entre sí por tabiques de tejido conectivo, que ayudan a mantener la estructura física del órgano eléctrico. (Gotter et al. 2012)

Estos animales están distribuidos por la cuenca del Amazonas y la cuenca del Rio Orinoco, teniendo presencia en varios países como Colombia, Brasil, Venezuela, Perú, Ecuador y Bolivia. Habitan ecosistemas acuáticos de agua dulce, zonas inundables y también están presentes en cuerpos de agua lenticos, con poca disponibilidad de oxígeno como llanuras costeras, pantanos y arroyos. Están activos principalmente de noche, una vez han ubicado a sus presas, doblan su cuerpo y produce una descarga eléctrica que aturde, paraliza o mata a su presa, dependiendo del tamaño del animal. (Sánchez, 2022)

### PEZ TORPEDO: FAMILIA Torpedinidae.



**IMAGEN 3 Izquierda:** La ilustración muestra la estructura del órgano eléctrico y las columnas de electrocitos en él. Modificado de: Tanaka et al, (2016). **Derecha:** órganos eléctricos con inervaciones y estructuras del sistema nervioso. Tomado y modificado de: General Zoology / The Diversity of Animal Life. (sf)

La raya eléctrica marina o el pez torpedo (género *Torpedo* y varias especies: *marmorata*, *californica*, *nobiliana*, *occidentalis*) tiene dos grandes órganos eléctricos en forma de semiluna dispuestos en el dorso, cada uno está conformado “por entre 470 y 1200 columnas de una pulgada de longitud, dependiendo del tamaño del animal. Cada columna se divide a su vez en aproximadamente 150 partes” (Miguélez et al, 2001), puede producir descargas eléctricas de alto amperaje en virtud de numerosas columnas de electrocitos dispuestas en paralelo.

En esto se diferencia del *Electrophorus*, que produce descargas de alto voltaje debido a numerosos electrocitos dispuestos en serie. La disposición básica de los electrocitos del pez torpedo dentro de las columnas de órganos eléctricos es notablemente similar a la de *Electrophorus*, aunque los electrocitos del Torpedo son más pequeños y tienen forma de panqueque (10-30  $\mu\text{m}$  x 5 mm de diámetro) están apilados uno tras otro en columnas delineadas por tabiques de tejido conectivo aislantes eléctricamente. (Gotter et al, 2012)

La raya eléctrica tiene una distribución cosmopolita, habitando la gran mayoría de mares tropicales y templados. (Nelson, 2011) Son habitantes relativamente inactivos de fondos fangosos que frecuentemente se entierran en la arena o el lodo.

### **RECONSTRUYENDO EL PRESENTE. (Análisis histórico crítico)**

En el proceso de indagación sobre el impulso nervioso, se llevó a cabo la búsqueda de fuentes primarias, incluyendo la exploración y el reconocimiento de las intenciones, los experimentos y las publicaciones de destacados personajes históricos. Estos elementos proporcionaron una fuente para ampliar las perspectivas y enriquecer la construcción del fenómeno en cuestión.

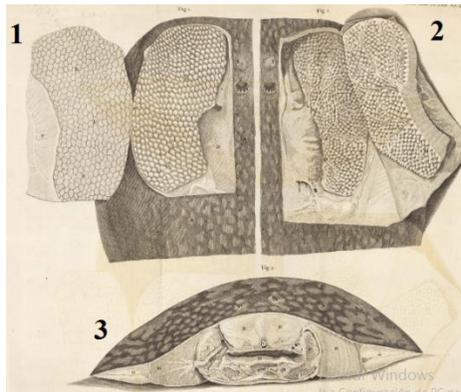
En este capítulo se explorarán aspectos de la característica eléctrica del impulso nervioso, el rol de los peces eléctricos y la electricidad animal, así como los instrumentos desarrollados para el registro del impulso.

#### **La Característica Eléctrica del Impulso Nervioso**

La electricidad y sus diversas manifestaciones, como la luz, el sonido y el movimiento, son comúnmente asociadas con electrodomésticos y eventos climáticos, como tormentas. En tales contextos, a menudo se hacen comentarios relacionados con conceptos como cortocircuitos y descargas eléctricas; sin embargo, dichos eventos son difícilmente asociados a entidades biológicas, ya que no presentan la organización usual que se encontraría en los electrodomésticos, como cables y baterías; aunque la mención anterior es somera, ilustra una preocupación que ha estado rondando durante algunos siglos y es ¿Los animales pueden generar electricidad?

Antes del siglo XVIII la inquietud de los investigadores se centró en parte, en comprender la organización anatómica y buscar una explicación del funcionamiento de las estructuras y procesos de animales recién observados. En este punto, destacan las descripciones anatómicas de los nervios y su asociación con los músculos, provocando movimientos al estimularlos mecánicamente. Hasta antes del siglo II, los movimientos observados en los animales se explicaron como resultado de la intervención de entes superiores y espíritus

animales al interior de estos organismos viajando por los cordones huecos<sup>8</sup>. Una idea que perduró por más de diez siglos, hasta que fue descartada al identificar que en los nervios de algunos animales no se observaron gases o espíritus saliendo de estos, cuando son sumergidos en agua. Otra explicación apuntó a la presencia de una sustancia irritante que afecta las fibras musculares haciendo que estas se contraigan, señalando que los músculos al estimularse con el más leve toque se irritan<sup>9</sup> a diferencia de los nervios que son sensibles por no “sentir” dolor cuando son directamente estimulados, no obstante, posteriores experimentos demostraron que al anudar una cuerda a un nervio, este no se llena con ningún líquido ni gotea de alguna manera, abriendo la posibilidad que a través de los nervios fluye un *algo*, más rápido que un líquido o un gas, encargado de transmitir esas señales de dolor y contracción muscular hasta el momento desconocidas.



**IMAGEN 4** Disección longitudinal y vista transversal de los órganos eléctricos de un pez torpedo. **1 Superior izquierda:** órgano eléctrico mostrando las columnas de electro placas **2 superior derecha:** órgano eléctrico derecho corte longitudinal exponiendo las columnas de electro placas. **3. Inferior central:** sección transversal del Torpedo. (Hunter, 1773, p. 489)

La pista de lo que podría estar fluyendo a través de los nervios de los animales, diferente a un espíritu, un gas o un líquido, llega a través de los estudios anatómicos de John Hunter en 1773 sobre el pez torpedo, un animal muy intrigante para la época, por sus sorprendentes ataques, Hunter describió dos órganos semilunares “Cada uno consiste enteramente en columnas perpendiculares, extendiéndose de la superficie superior a la inferior del cuerpo, y variando en sus longitudes” (Hunter, 1773, p. 483), ocupando la totalidad del área de esos órganos. Además, encontró que:

<sup>8</sup> Los cordones huecos son nervios motores.

<sup>9</sup> Entiéndase irritación como contracción.

El número de columnas en diferentes Torpedos parece ser de alrededor de 470 en cada órgano, pero el número varía según el tamaño de la aleta. Cada columna está dividida por tabiques horizontales, colocados unos sobre otros, a distancias muy similares, y formando numerosos intersticios, que parecen contener un fluido. (Hunter, 1773, p. 484) Lo que hoy se conocen como electrocitos; adicionalmente, dichas estructuras estaban cubiertas de una sustancia blanca de consistencia aceitosa.

Hunter también hace una observación sobre la disposición de los nervios, señalando que

Los nervios insertados en cada órgano eléctrico nacen por tres troncos muy grandes de la parte lateral y posterior del cerebro. La magnitud y el número de los nervios que brotan de estos órganos, en proporción a su tamaño, deben parecer tan extraordinarios como los fenómenos que producen. Si es probable que estos nervios no sean necesarios para los fines de la sensación o de la acción, no podemos concluir que no estén al servicio de la formación, de la recolección o de la administración del fluido eléctrico. (Hunter, 1773, p. 486)

Esta observación insinúa una estrecha relación entre un aparente control nervioso sobre los efectos del pez, sugiriendo que la gran abundancia de nervios no pueda explicarse solamente por las necesidades sensoriales o motoras del animal, sino que pueden deberse a algo más.

### **¿Qué Rol Desempeña el Pez Torpedo y la Anguila Suramericana Con la Característica Eléctrica?**

Una característica común entre estos peces son los efectos producidos sobre quienes tocan accidental o intencionalmente estos animales. Los relatos orales y escritos describen temblores incontrolables, fallecimiento y sensaciones paralizantes y ascendentes en las extremidades que entran en contacto con los peces; además, otros relatos indican que dichos animales fueron utilizados como tratamiento terapéutico en personas paralizadas o enfermos de gota, aliviando el dolor de sus extremidades adormeciéndolas al contacto directo con la zona afectada. Así mismo, se menciona que la transmisión de estos efectos se da inclusive si el animal no se encuentra en contacto directo con su víctima, sino a través de una red de pesca, una varilla metálica o transitando muy cerca de su hábitat. ¿Esto cómo se relaciona con la electricidad?

La construcción de los primeros generadores eléctricos y la botella de Leiden<sup>10</sup> durante los inicios del siglo XVIII, así como numerosas disecciones del pez torpedo, el pez gato y la anguila suramericana dan origen a las primeras sospechas sobre un vínculo entre los efectos causados por estos animales y su similitud con los eventos eléctricos generados por las máquinas eléctricas.

### **¿Tienen algo en común los generadores eléctricos y el pez Torpedo?**

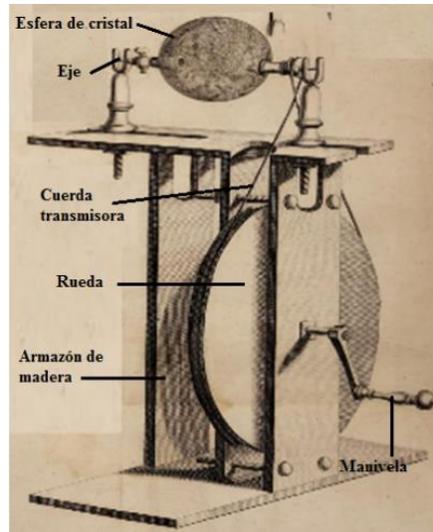
Un generador eléctrico (ver imagen 5) es una máquina construida a mediados del siglo XVII, consiste en un armazón de madera soportando una esfera de cristal girando sobre un eje diametral e impulsado por una rueda grande y provista de una manivela. Esta rueda también está sostenida por el armazón y movida por la manivela, conectada a una polea en el eje de la esfera de cristal, por una cuerda transmisora y multiplicadora de la rotación. Accionando la manivela, gira la rueda mayor, la polea y la esfera. En estado de rotación rápida, poniendo una mano seca y áspera sobre la esfera la frotación producía en la esfera una electrización fuerte. (Poveda, 2003).

La característica principal de los generadores eléctricos de la época consiste en lanzar pequeños destellos de luz (chispas), producir sonidos y atraer o repeler ciertos materiales cuando están cerca de estos artefactos, no obstante, dichos efectos no se observan en los peces, por el contrario, lo que insinúa la presencia de un fenómeno eléctrico son las sensaciones producidas cuando estas máquinas se descargan al contacto directo, ya que se percibe una sensación temporal que se propaga más allá del punto de contacto y deja un efecto de adormecimiento o temblores similares a las descritas sobre estos animales, además, la idea de encontrar un desequilibrio permanente en los tejidos de los peces, como si ocurre entre el interior y el exterior de las botellas de Leiden que proporcionara la fuerza para conducir la electricidad era descabellada, más si se piensa que esta electricidad aparentemente se conduce solamente por los nervios y que el pez habita en un medio acuoso donde parece no sufrir ningún daño proveniente de las descargas.

---

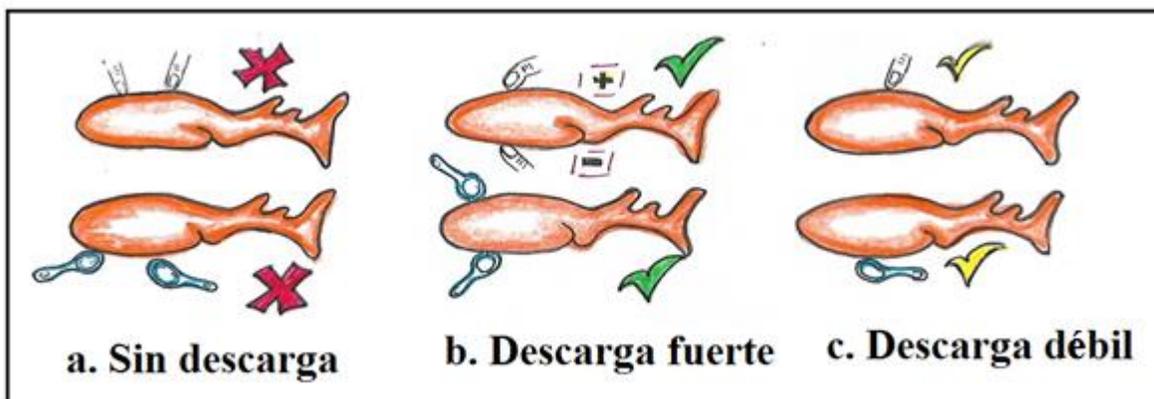
<sup>10</sup> Botella de Leyden: "dispositivo que permite almacenar cargas eléctricas comportándose como un condensador. (Universidad Pedagógica Nacional, s.f.).

Consiste en un frasco de vidrio con lámina de estaño conductor que recubre las superficies interior y exterior. Los revestimientos de lámina se detienen antes de la boca del frasco, para evitar que la carga forme un arco entre las láminas. Un electrodo de varilla de metal se proyecta a través del tapón no conductor en la boca del frasco, conectado eléctricamente por algún medio (generalmente una cadena colgante) a la hoja interior, para permitir que se cargue. La jarra se carga con un generador electrostático u otra fuente de carga eléctrica, conectada al electrodo interior mientras que la lámina exterior está conectada a tierra. Las superficies interior y exterior del frasco almacenan cargas iguales pero opuestas. Academia Lab. (2023)



**IMAGEN 5** Máquina electrostática, consiste en un armazón de madera soportando una esfera de cristal girando sobre un eje diametral e impulsado por una rueda grande y provista de una manivela. Esta rueda también está sostenida por el armazón y movida por la manivela, conectada a una polea en el eje de la esfera e cristal, por una cuerda transmisora y multiplicadora de la rotación. Tomado y modificado de Hauksbee, (1709)

Con estas sospechas, los experimentos realizados por John Walsh en 1772 resultan reveladores, ya que, determinó la polaridad del pez torpedo al tocar simultáneamente con los dedos el vientre y dorso del animal, percibiendo una descarga similar a las experimentadas por las botellas de Leyden (ver imagen 6), efecto que no se hace presente si se toca el pez con los dedos en el dorso o en el vientre; este experimento fue repetido utilizando distintos materiales como cucharas y vidrios, identificando además algunos materiales que permiten una mejor conducción de la descarga del animal.



**IMAGEN 6** Representación de los experimentos de Walsh. a. sin efectos de descarga al tocar el pez torpedo solamente en el dorso con dos dedos y después con dos cucharas. b. Descarga fuerte del pez torpedo al tocarlo simultáneamente en el dorso y en el vientre con los dedos o con dos cucharas. c. Descarga débil del pez torpedo al tocarlo solamente con una cuchara en el dorso o en el vientre. (Elaboración propia)

...all the parts bordering on the organs act, more or less, as conductors either through their substances or by their superficies, while an insulated person, placing two fingers on the same surface of one or both organs, cannot be affected; if he removes one of his fingers to any such contiguous part he will be liable to a shock; but this shock will not be near, perhaps not half, so violent, as one taken immediately between the opposite surfaces of the organ.

[todas las partes contiguas a los órganos actúan, más o menos, como conductores, ya sea a través de sus sustancias o por sus superficies, mientras que una persona aislada, colocando dos dedos en la misma superficie de uno o ambos órganos, no puede ser afectada; si retira uno de sus dedos a cualquiera de tales partes contiguas, estará expuesto a una descarga; pero esta descarga no será ni de cerca, tal vez ni la mitad, tan violenta, como una tomada inmediatamente entre las superficies opuestas del órgano] (Walsh, 1772)<sup>11</sup>

Walsh completó varios circuitos con torpedos y anguilas usando cadenas de personas unidas por las manos, que al cerrarse producían dolor y adormecimiento en los participantes (Imagen 7).

Notwithstanding the weak Spring of the Torpedinal fluid I was able to convey it in the public Exhibitions at La Rochelle thro' two Brass Wires of twelve feet each and thro' 4 to 8 Persons, at different times, the Wires and Persons communicating with each other by the medium of Water, in Basins placed between each. The Torpedo laid on a wet Napkin was placed on a Table six feet distant from the Table on which the Basins stood. One End of One of the Wires was wrap in the Wet Napkin and the other End went into the first Basin in which the first Gentleman put a finger of one hand, with a finger of the other hand in the next Basin. The Circuit was in this manner continued to the last Basin. One End of the other Wire was put into this last Basin and with the other End I just touched the Back of the Fish, when all the Persons in the Circuit were affected,

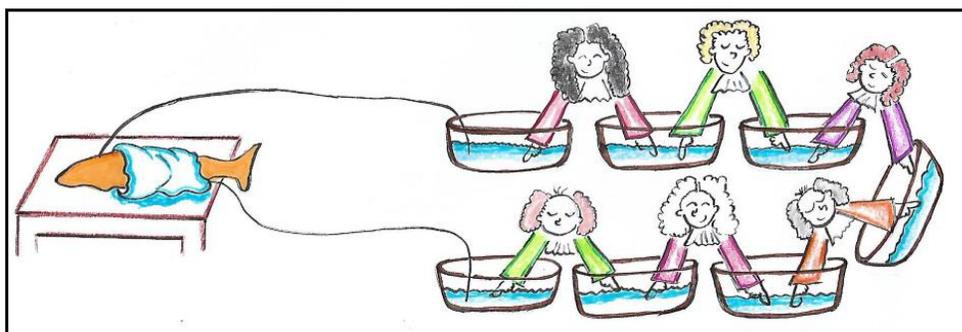
[A pesar de la debilidad del fluido Torpedinal, he sido capaz de transmitirlo en las exposiciones públicas de La Rochelle a través de dos cables de latón de doce pies cada uno y a través de 4 a 8 personas, en diferentes momentos, los cables y las personas se

---

<sup>11</sup> Traducción realizada con DeepL traductor y modificada para mantener la coherencia del texto.

Las citas textuales de Walsh no tienen número de página, ya que hacen parte de una carta dirigida a Benjamín Franklin en 1772. Ver bibliografía.

comunican entre sí por el medio del agua, en cuencos colocados entre cada uno. El torpedo, colocado sobre una servilleta mojada, se colocó sobre una mesa a dos metros sobre la que estaban los recipientes. Un extremo de uno de los cables se envolvió en la servilleta mojada y el otro extremo se introdujo en la primera cubeta, en la que el primer caballero introdujo un dedo de una mano y el dedo de la otra mano en la siguiente cubeta. El circuito continuó de esta manera hasta el último recipiente. Un extremo del otro cable se introdujo en este último recipiente y con el otro extremo toqué la espalda del pez, cuando todas las personas del circuito se vieron afectadas]. (Walsh, 1772)<sup>12</sup>

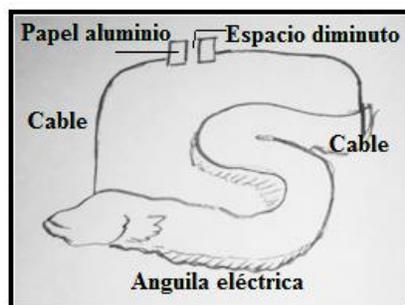


**IMAGEN 7** Representación del experimento de Walsh creando un circuito entre el pez torpedo y varias personas entrelazadas por medio de cubetas de agua salada. (Elaboración propia)

La contribución más grande para despejar las dudas sobre la naturaleza eléctrica de los efectos de los peces fue la generación de un chispa en 1776, (imagen 8) utilizando una anguila sudamericana, Walsh posicionó dos alambres con la misma longitud dentro de una vasija que tocaba los extremos de la anguila (la cabeza y la cola), al final de cada alambre había una fina capa de papel aluminio, separado del otro cable por una distancia no mayor a unos cuantos milímetros, después de completar el circuito, un brillante y efímero arco iluminó la habitación donde no solo él, sino varios testigos presenciaron la tan anhelada chispa.

<sup>12</sup> Traducción realizada con DeepL traductor y modificada para mantener la coherencia del texto.

Las citas textuales de Walsh no tienen número de página, ya que hacen parte de una carta dirigida a Benjamín Franklin en 1772 y transcrita por Founders Online, National Archives.



**IMAGEN 8** Representación del experimento de la chispa con la anguila Sudamérica. Por: Gina Robayo

Por su parte, Henry Cavendish en 1776 demuestra que la conducción de los efectos de los peces en el agua salada era posible, creando su propio modelo de pez (tipo condensador) cargado eléctricamente con 47 botellas de Leyden, que sumergió en un recipiente con agua salada, (este procedimiento lo repitió con distintos concentraciones de agua salada, así como con agua de lluvia y agua destilada) posteriormente introdujo su mano y recibió la descarga, identificando que la descarga se percibía más intensamente cuando esta se daban en concentraciones de agua salada y no en agua destilada o en agua de lluvia, Cavendish menciona que esto ocurre porque la mano proporciona menor resistencia a la conducción que el medio y por tanto mayor cantidad de electricidad podría percibirse.

I found, upon trial, that though a shock might be procured from this artificial torpedo, while held under water, yet there was too great a disproportion between its strength, when received this way, and in air; for if I placed one hand on the upper, and the other on the lower surface of the electric organs, and gave such a charge to the battery, that the shock, when received in air, was as strong as, I believe, that of the real torpedo commonly is ; it was but just perceptible when received under water. By increasing the charge, indeed, it became considerable; but then this charge would have given a much greater shock out of water than the torpedo commonly does.

[Al probarlo, descubrí que aunque se podía obtener una descarga de este torpedo artificial, mientras se mantenía bajo el agua, había una desproporción demasiado grande entre su fuerza, cuando se recibía de esta manera, y en el aire; porque si colocaba una mano en la superficie superior, y la otra en la inferior de los órganos eléctricos, y daba una carga tal a la batería, que la descargaba, cuando se recibía en el aire, era tan fuerte como, creo, la del torpedo real es comúnmente; sólo era apenas perceptible cuando se recibía bajo el agua. Al aumentar la carga, en efecto, se hizo considerable; pero

entonces esta carga habría dado un choque mucho mayor fuera del agua de lo que el torpedo hace comúnmente.] (Cavendish 1778, p.209).<sup>13</sup>

It is remarkable, that if I used fresh water instead of salt, the shock seemed very little Weaker, when received under water than out; which not only confirms what was before said, that salt water conduits much better than fresh; but, I think, shews, that the human body is also a much better conductor than freshwater: for otherwise the shock must have been much weaker when received under fresh water than in air.

[Es notable, que si yo usaba agua dulce en lugar de sal, el choque parecía un poco más débil, cuando se recibía bajo el agua que fuera; lo que no sólo confirma lo que se dijo antes, que el agua salada conduce mucho mejor que la dulce; sino que, creo, demuestra que el cuerpo humano es también un conductor mucho mejor que el agua dulce: porque de lo contrario el choque debe haber sido mucho más débil cuando se recibe bajo el agua dulce que en el aire] (Cavendish, 1777, p. 210)<sup>14</sup>

Por último, la ausencia de efectos de atracción y repulsión en electrómetros al acercar los peces torpedo y la anguila se explicó debido a la brevedad en la que ocurren las descargas de los peces que no eran lo suficientemente continuas como para ser registradas por los instrumentos de la época.

That no one could ever perceive the shock to be accompanied with any attraction or repulsion, does not seem extraordinary ; for as the electricity of the torpedo is dissipated by escaping through or over the surface of its body, the instant it is produced, a pair of pith balls suspended from anything in contact with the animal will not have time to separate, nor will a fine thread hung near its body have time to move towards it, before the electricity is dissipated.

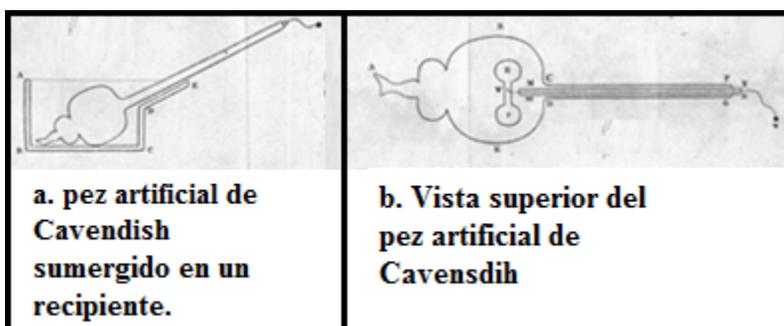
[El hecho de que nadie pueda percibir que el choque vaya acompañado de atracción o repulsión, no parece extraordinario; porque como la electricidad del torpedo se disipa escapando a través o sobre la superficie de su cuerpo, en el instante en que se produce, un par de bolas de médula en suspensión de cualquier cosa en contacto con el animal no tendrán tiempo de separarse, ni un hilo fino colgado cerca de su cuerpo tendrá

---

<sup>13</sup> Traducción realizada con DeepL traductor y modificada para mantener la coherencia del texto.

<sup>14</sup> Traducción realizada con DeepL traductor y modificada para mantener la coherencia del texto.

tiempo de moverse hacia él, antes de que la electricidad se disipe] (Cavendish, 1777, p. 203)<sup>15</sup>



**IMAGEN 9** Pez torpedo artificial realizado por Cavendish, consiste en una pieza de madera cortado con la silueta del pez torpedo, de 40 cm de largo, 25 cm de ancho, unido a un palo de 100cm de largo para manipularlo, la pieza de madera tiene una hendidura en el centro para ubicar en ambos lados un tubo de vidrio a travésado por un cable de cobre y unido a una pieza de estaño delgada en cada lado, que representa los órganos eléctricos del torpedo, todo cubierto con cuero de oveja. Tomado y modificado de Cavendish (1776)

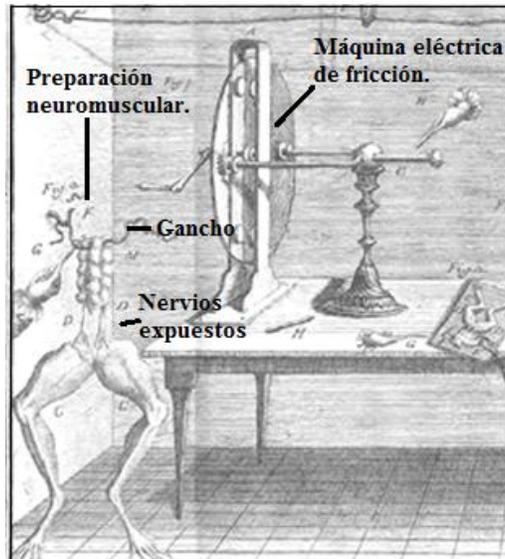
Hasta este punto, la relevancia de la experimentación y las observaciones proveniente de las tradiciones orales es enorme, en tanto proporciona los elementos para generar más preguntas y empezar a relacionarlos con fenómenos inexplicados, de manera que se puedan plantear posibles hipótesis que den cuenta de los mismos, por ejemplo. La convergencia entre los relatos sobre los peces, los estudios anatómicos y la construcción de las primeras máquinas eléctricas da paso a la *electricidad animal*, un tipo de electricidad aparentemente generada en los tejidos de algunos animales que toma fuerza después de los hallazgos de Walsh y Cavendish.

Estos desarrollos adquieren importancia para mi trabajo, porque sitúan la importancia de hablar de la presencia de electricidad en los organismos, como base para describirla más adelante como impulso nervioso, un aspecto que antes de este trabajo no se había contemplado, mucho menos porque dichas observaciones surgieron del interés por comprender los efectos de ciertos peces y no por el interés directo de explicar el funcionamiento de los nervios. Esto ilustra un aspecto destacado del proceso de construcción del conocimiento: la idea de que múltiples perspectivas y áreas de interés pueden converger en torno a un mismo fenómeno, permitiendo un enriquecimiento colectivo de la comprensión.

<sup>15</sup> Traducción realizada con DeepL traductor y modificada para mantener la coherencia del texto

## La Electricidad Animal.

Situar un fenómeno eléctrico en un pez, no implica que este fenómeno se presente en otros animales, en este sentido los aportes del médico y fisiólogo italiano Luigi Galvani en su defensa por la electricidad animal contribuyen a localizar los fenómenos eléctricos en estructuras neuromusculares de animales menos exóticos como las ranas y dar respuesta a la inquietud de como los tejidos conductores pueden almacenar electricidad.

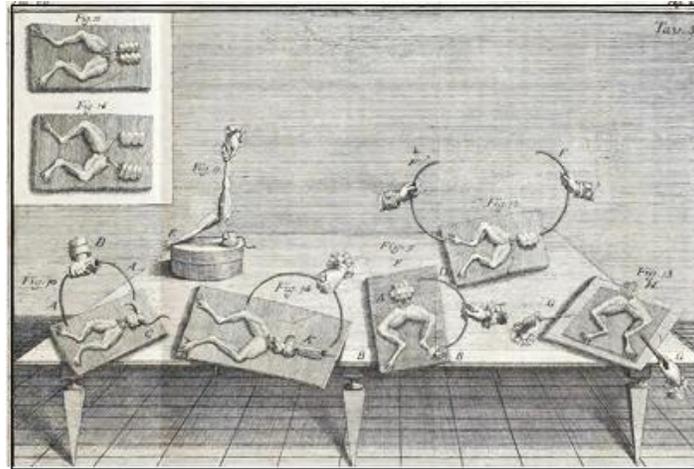


**IMAGEN 10** Representación de la primera observación de Galvani. máquina eléctrica de fricción y preparación neuromuscular de una anca con un gancho metálico insertado en la médula espinal. Tomado y modificado de Galvani, (1791, p.418)

La experiencia que detona el interés de Galvani parte de una observación en la contracción de una preparación neuromuscular (ancas de rana con los nervios crurales expuestos) , donde por acción de una máquina eléctrica de fricción cercana, se produce un movimiento inesperado en las patas del animal (ver imagen 10); a partir de esta observación Galvani experimenta con otras preparaciones tratando de identificar si los espasmos de las ancas se debían al efecto de la electricidad producida por la máquina de fricción o a la estimulación de los nervios crurales con un bisturí, repitiendo así la experiencia, tocando los nervios crurales de las ranas y ubicando a diferentes distancias las preparaciones neuromusculares de las máquinas de fricción Galvani observó que estos no se movían al tocarlos con el bisturí, pero si tenían una aparente relación cuando se accionaba la máquina.

En posteriores experimentos con la electricidad atmosférica Galvani busca identificar si la electricidad de un día tranquilo y un día tormentoso puede provocar contracciones en la preparación de las ancas de rana; como resultado estas contracciones son observadas en el

día tormentoso, pero no ocurre lo mismo en un día calmado, ya que ningún movimiento se aprecia sino hasta que Galvani manipula la preparación presionando el gancho metálico insertado en la médula espinal contra una barra de metal dispuesta en la terraza de Galvani; como consecuencia, nota que las contracciones se pueden generar sin la presencia de una máquina de fricción, solamente tocando los nervios y músculos del anca de las ranas en distintas partes formando un tipo de circuito entre los nervios y el músculo.

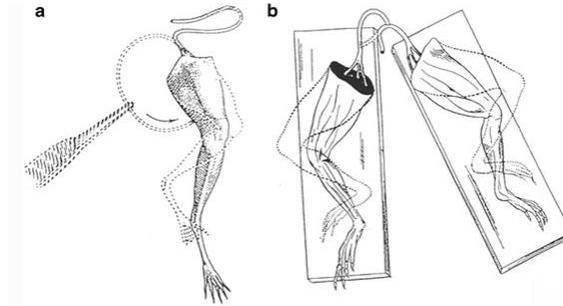


**IMAGEN 11** Experimentaciones con los arcos metálicos tocando en distintas partes la médula espinal, los nervios curales y los músculos. Tomado de Galvani (1791, p.418.)

Posteriormente Galvani realiza diferentes experiencias usando arcos de distintos metales que lo llevan a señalar que las contracciones son más vigorosas cuando son estimulados los nervios en lugar de los músculos (Ver imagen 11). Sus hallazgos le permiten mencionar que al interior de los animales existe una máquina generadora de un tipo de electricidad animal que fluye desde el cerebro, pasa por los nervios y llega a los músculos.

La nueva electricidad es puesta en duda debido a que se sospecha que las contracciones musculares son el resultado de la diferencia entre los metales de los arcos usados por Galvani y el medio húmedo de los tejidos y no por un tipo de electricidad propio de las ranas, donde la rana simplemente conduce la electricidad que fluye entre los arcos, en ese sentido el musculo del animal no era necesario para generar la corriente y por tanto la electricidad animal seria solo una interpretación errada de lo observado. Posteriores demostraciones realizadas especialmente por Alessandro Volta intentan desestimar la electricidad animal desarrollando una pila con discos hechos con metales distintos, intercalada con paños bañados en salmuera capaz de generar una corriente continua; para defender su punto Galvani realizó el siguiente montaje. (Ver imagen 12)

Separó y preparó las dos patas de una rana con sus respectivos nervios ciáticos seccionados cerca de la salida del canal vertebral, y las colocó algo separadas. A continuación, con una varilla de vidrio, movió el nervio correspondiente a una de las patas de modo que llegara a tocar en dos puntos diferentes el otro nervio, doblado para formar un pequeño arco. (Piccolino, 1998, p.389).



**IMAGEN 12 a.** Experimento de 1794. Cuando la superficie de la sección del nervio toca el músculo, la pierna se contrae; **b.** Experimento de 1797: cuando la superficie de la sección del nervio ciático derecho toca la superficie intacta del nervio ciático izquierdo, ambas piernas se contraen. Tomado de Verkhatsky (2006, p 236)

Como consecuencia, las ancas de rana se mueven sin la presencia de arcos metálicos demostrando experimentalmente la presencia de un tipo de corriente al interior de los animales.

De las experiencias de Galvani se extraen aspectos fundamentales para comprender posteriormente la característica eléctrica del impulso nervioso,

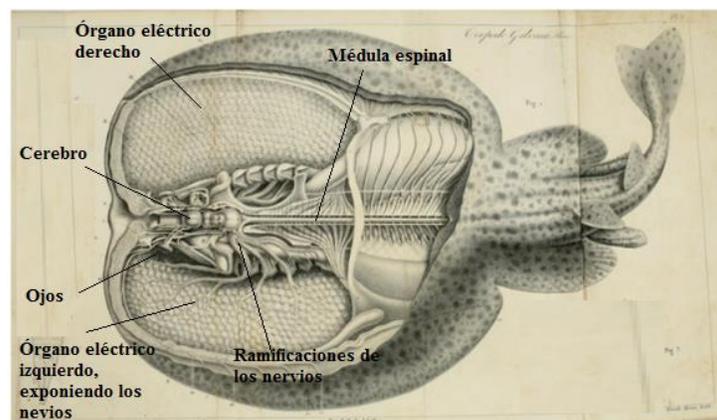
1. La asociación entre las descargas eléctricas y las contracciones musculares de las ancas al ser estimuladas con máquinas electrostáticas.
2. El reconocimiento de los tejidos nervioso y muscular como caminos por donde la corriente eléctrica fluye.
3. La observación sobre la diferencia de cargas de los nervios y los músculos, que les permiten generar corrientes eléctricas manifestadas en contracciones.
4. Por último, el reconocimiento de los tejidos nerviosos como vías principales de la conducción eléctrica generada al interior de los animales.



**IMAGEN 13** Contracciones generadas al formar un circuito entre dos personas tomadas de la mano, haciendo contacto con la médula espinal del anca de rana y el muslo a través de dos arcos de metal. Tomado y Modificado de Galvani (1791, p 418)

### Otras contribuciones sobre el estudio de los peces eléctricos.

La relevancia de estos organismos se enmarca en varios factores, uno de ellos parte del estímulo que significó las múltiples descripciones sobre estos animales que llevaron a distintos pensadores a realizar experimentos y disecciones, dando como resultado la primeras observaciones de los órganos eléctricos, presentando la organización de sus estructuras en forma de columnas aglomeradas fuertemente inervadas, además de la acertada sospecha de la transmisión de estos efectos a través de las fibras musculares y los nervios, puesto que en las disecciones del pez torpedo estos órganos no solo ocupan un área grande en el cuerpo del animal sino que pierden completa funcionalidad si por ejemplo el cerebro o los nervios son extraídos. Galvani consideró que al interior de las fibras musculares de peces y ranas hay un desequilibrio eléctrico permanente producido por sustancias aislantes en las fibras musculares de los peces, donde los nervios ingresan a la fibra muscular para comunicar las dos zonas permitiendo el flujo de electricidad al igual que una botella de Leyden.



**IMAGEN 14** Vista superior del sistema cerebro espinal del pez torpedo. Tomado y modificado de Matteucci (1844. Fig 1)

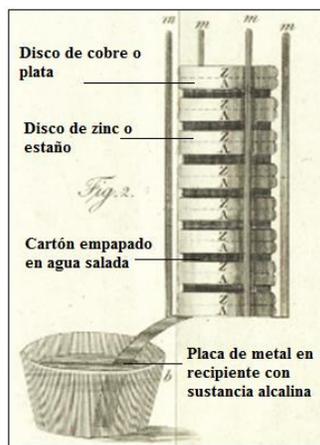
Por otra parte, estos animales también fueron de inspiración al químico y físico italiano Alessandro Volta , famoso detractor de la electricidad animal, quien consideró que esta tiene su origen en el contacto de los arcos metálicos utilizados por Galvani y no en un fenómeno eléctrico originado al interior de los organismos, señalando que los efectos de los peces son ocasionados por tejidos conductores al interior de estos animales; no obstante inspirándose en las columnas descritas sobre los peces eléctricos Volta construyó la primera pila del mundo, un columna hecha de discos intercalados de zinc, cobre y un paño humedecido en agua salada, formando así un artefacto capaz de mantener una corriente prolongada muy diferente a la realizada por las máquinas electrostáticas de la época que descargan su corriente en un solo evento.

Oui, l'appareil dont je vous parle, et qui vous étonnera sans doute, n'est que L'assemblage d'un nombre de bons conducteurs de différente espèce, arrangés d'une certaine manière. 30, 40, 60 pièces, ou d'avantage, de cuivre, ou mieux d'argent, appliquées chacune à une pièce d'étain, ou, ce qui est beaucoup mieux, de zinc, et un nombre égal de couches d'eau, ou de quelque autre humeur qui soit meilleur conducteur que l'eau simple, comme l'eau salée, la lessive, &c. ou des morceaux de carton, de peau, &c. bien imbibés de ces humeurs; de telles couches interposées à chaque couple ou combinaison des deux métaux différents, une telle suite alternative, et toujours dans le même ordre, de ces trois espèces de conducteurs, voilà tout ce qui constitue mon nouvel instrument;

[Sí, el dispositivo del que os hablo, y que sin duda os asombrará, es simplemente el ensamblaje de un número de buenos conductores de diferentes tipos, dispuestos de una determinada manera. 30, 40, 60 piezas, o de ventaja, de cobre, o mejor de plata, cada una aplicada a una pieza de estaño, o, lo que es mucho mejor, de zinc, e igual número de capas de agua, o de algún otro humor que sea mejor conductor que el agua simple, como agua salada, lejía, &c. o trozos de cartón, piel, etc. bien empapados en estos humores; tales capas interpuestas en cada pareja o combinación de los dos metales diferentes, tal sucesión alternada, y siempre en el mismo orden, de estas tres especies de conductores, he aquí todo lo que constituye mi nuevo instrumento;] (Volta, 1800. p. 404)<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Traducción del francés al español realizada con Google Lens, ajustada por la autora para mantener la coherencia del texto.



**IMAGEN 15** Ilustración de la pila de volta. La columna contiene discos de zinc y cobre intercalados con paños embebidos en sal. Tomado y modificado de Volta (1800, p 430)

Por su parte, Henry Cavendish experimentando con su pez artificial, realiza un primer acercamiento a conceptos como el grado de electrificación y la cantidad de electrificación, comparando dos montajes, el primero es un grupo de Botellas de Leyden conectadas en paralelo y el segundo consistió en una sola botella, su propósito es medir la distancia que alcanza la chispa al salir de cada montaje e identificar si hay una diferencia entre los dos, como resultado la distancia es la misma en ambos montajes pero la intensidad de la descarga es más fuerte cuanto más botellas hay en el montaje.

Reconocer la relevancia en los trabajos de Galvani, Volta y Cavendish, significan para esta autora una nueva característica para hablar del impulso, porque proporcionan nuevas descripciones y experiencias que la maestra en cierto modo puede replicar, no como una verificación de lo que dicen estos personajes, sino como un recurso e inspiración que permitan relacionar otras situaciones con el fenómeno, por ejemplo presentar los órganos eléctricos en el aula, aprovechando que no se puede interactuar con una anguila real o un torpedo, las pilas de Volta son una alternativa para acercarse a las descripciones sobre los ataques, que se asociaron en su momento a las descargas eléctricas de máquinas electroestáticas y que llevaron a pensar en la electricidad como el elemento que recorre los nervios, además, abordar el impulso desde los peces, permite tratar aspectos del funcionamiento de los tejidos nervioso y muscular, donde las imágenes y la bibliografía consultada describen una estrecha relación entre los órganos eléctricos (células musculares) y los nervios, lo que permite dar cuenta de otros aspectos del impulso, por ejemplo que este tiene lugar en los nervios y que controla otros órganos y funciones del cuerpo.

## Instrumentos y Gráficas, un Camino Hacia la Descripción del Impulso.

La importancia de registrar la reciente electricidad animal con medios más rigurosos y medibles que las descripciones de las sensaciones de los observadores, allana el camino hacia una diversificación de las características de esta electricidad y un paso hacia el impulso nervioso, así pues, el galvanómetro es el primer artefacto que permite registrar pequeñas corrientes eléctricas que los electrómetros de la época no habían registrado hasta el momento.

El galvanómetro (ver imagen 16) detecta corrientes eléctricas pequeñas a través de la desviación de dos agujas magnetizadas, dichas agujas están colgadas paralelamente con un hilo de seda, una de ellas visible y la otra dentro de una bobina de cobre, dispuestas de manera que los polos magnéticos de ambas agujas son opuestos, de esta manera “cuando se encuentra dentro de un campo magnético externo, el torque ejercido sobre una aguja es igual y opuesto al torque ejercido sobre la otra.

Al estar conectadas, el sistema en su conjunto no se ve afectado por el campo magnético (Litman, 2022) La aguja inferior se va a desviar desde su posición inicial debido al campo magnético provocado por la corriente eléctrica al pasar por la bobina de cobre, la presencia de la segunda aguja evitará la interferencia del campo magnético de la tierra; la aguja superior va a marcar el grado de desviación sobre una escala de 2 cuadrantes cada uno de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , entre mayor sea el ángulo, mayor será la intensidad de la corriente. Con posteriores modificaciones, la detección y medición de corrientes eléctricas en preparaciones biológicas logró llevarse a cabo con mayor precisión permitiendo describir otros aspectos de la electricidad animal.

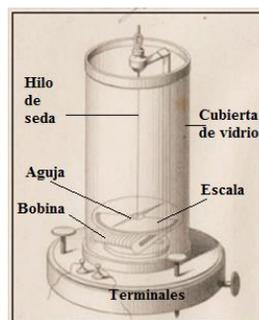
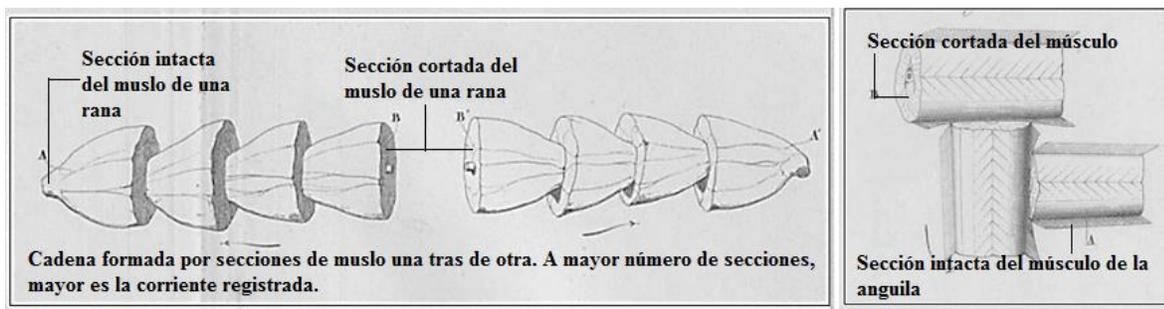


IMAGEN 16 Galvanómetro astático. Tomado y modificado de Matteucci 1844, p 273.

Gracias al galvanómetro se describe la *corriente de lesión o demarcación*, un tipo de electricidad pequeña registrada de un segmento de músculo de la rana, específicamente el muslo. La relevancia de este registro radica en que mide el flujo de corriente de una fibra muscular que se genera entre el interior y el exterior de la fibra, reconociendo que estos tejidos

tiene permanentemente cargas distintas, esta medición se le atribuye a Carlo Matteucci un físico italiano que midió y reconoció esta electricidad animal como una manifestación innata de los tejidos musculares del organismo, donde uno de sus experimentos más conocidos consistió en la elaboración de un pila hecha completamente de muslos de animales como las anguila, los conejos y las ranas, esta pila consistió en varios segmentos de muslo con dos superficies, una intacta y otra cortada cuidadosamente.

Estos segmentos están ubicados uno tras de otro, donde la superficie intervenida de uno entra en contacto con la superficie intacta del otro segmento (ver imagen 17), Matteucci, encontró que al agregar más segmentos el grado de marcación del galvanómetro aumenta, indicando una mayor intensidad de la corriente generada.



**IMAGEN 17 . (Izquierda)** Pila de Matteucci, con músculos de rana. **(Derecha)** pila con músculo de anguila. Tomado y modificado de Matteucci, (1844, p. 273).

On prépare alors cinq ou six grenouilles, et un plus grand nombre encore, si l'on veut obtenir des déviations très-grandes; on coupe à moitié ces grenouilles préparées à la manière de Galvani, et ensuite on enlève toutes les jambes, en ayant soin de faire la désarticulation le mieux possible, de manière à ne pas blesser la masse musculaire. Enfin on coupe les cuisses à moitié, et l'on obtient ainsi un certain nombre de demi-cuisses (fig. 13). Il faut maintenant commencer par poser sur la planche que j'ai décrite une de ces demi-cuisses, de instrumento manière qu'elle soit couchée sur les bords d'une des petites cavités creusées sur la planche. Alors, à la suite de cette première demi-cuisse, on dispose toutes les autres, toujours de manière que chaque demi-cuisse touche la suivante et qu'on ait tourné du même côté la face interne obtenue en coupant la cuisse à moitié. On aura ainsi à la fin de cette série, une de ces demi-cuisses, qui devra être comme la première, couchée sur les bords d'une autre cavité de la planche. C'est ainsi que j'obtiens à mon galvanomètre, 15°, 20°, 30°, 40°, 60", etc., selon le nombre des demi-cuisses, et en supposant d'avoir employé des grenouilles également

vivaces; j'obtiens 3° ou 4° avec deux éléments, 6° à 8° avec quatre éléments, 10° à 12°, avec six éléments, et ainsi de suite.

[A continuación se preparan cinco o seis ranas, e incluso más si se quieren obtener porciones muy grandes; estas ranas preparadas a la manera de Galvani se cortan por la mitad, y después se les quitan todas las ancas, teniendo cuidado de hacer la desarticulación lo mejor posible para no lesionar la masa muscular. Por último, se cortan los muslos por la mitad, obteniendo así un cierto número de medios muslos (fig. 13). Ahora hay que empezar colocando uno de estos medios muslos sobre la tabla que he descrito, de manera que quede apoyado en los bordes de una de las pequeñas cavidades practicadas en la tabla. Luego, después de este primer medio muslo, se colocan todos los demás, siempre de manera que cada medio muslo toque al siguiente y que la cara interior obtenida cortando el muslo por la mitad esté vuelta hacia el mismo lado. Así es como obtengo, en mi galvanómetro, 15°, 20°, 30°, 40°, 60", etc., según el número de medios muslos, y suponiendo haber utilizado ranas igualmente perennes; obtengo 3° o 4° con dos elementos, 6° a 8° con cuatro elementos, 10° a 12°, con seis elementos, y así sucesivamente.] (Matteucci, 1844, p 56,57)<sup>17</sup>

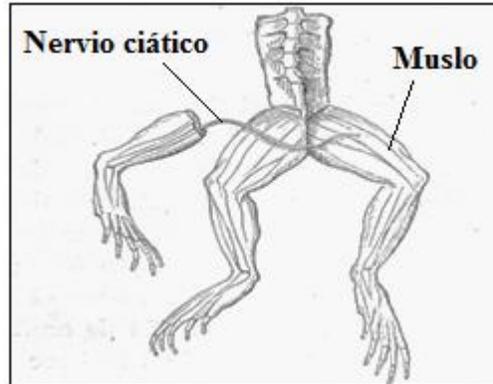
La medición de esta corriente llamada corriente muscular, pone de manifiesto otros aspectos importantes como la diferencia de potencial entre el interior y el exterior de las fibras musculares, característica acentuada por los cortes en los músculos de las ranas que generan un camino por donde la corriente puede fluir más fácilmente.

### **Contracciones Inducidas, Más Cerca de Una Descripción Del Impulso Nervioso.**

En un posterior experimento llevado a cabo por Matteucci, este dispuso el nervio ciático cortado de un anca de rana en contacto con el músculo de otra rana, se dio cuenta que, al contraerse la primera, se produce una descarga eléctrica que pasa por la extremidad del nervio de la segunda, cuando esta se apoya sobre el músculo; siendo este el primer indicio de la *corriente de acción* o descarga eléctrica propagada. (Imagen 18)

---

<sup>17</sup> Traducción del francés al español realizada con el traductor de Google Lens, ajustada por la autora para mantener la coherencia del texto.



**IMAGEN 18** Montaje que da paso a la idea de una corriente de acción. realizado por Matteucci. (1847, p 289)

Having prepared a galvanoscopic frog, we place its nerve upon one or both thighs of a frog placed in the ordinary manner: then, by applying the poles of a pile to the lumbar plexus of this frog, we observe that when the muscles of the thighs contract, convulsions simultaneously occur in the galvanoscopic claw, whose nerve rests upon the thighs in contraction. I have also ascertained that this phenomenon likewise occurs when we place the nerve of the galvanoscopic frog upon the muscles of the thigh of rabbit, and make these contract by means of a current acting upon the nerve which ramifies in the thigh.

[Habiendo preparado una rana galvanoscópica, colocamos su nervio sobre uno o ambos muslos de una rana colocada de la manera ordinaria: luego, aplicando los polos de una pila al plexo lumbar de esta rana, observamos que cuando los músculos de los muslos se contraen, se producen simultáneamente convulsiones en la rana galvanoscópica, cuyo nervio descansa sobre los muslos en contracción. También he comprobado que este fenómeno se produce igualmente cuando colocamos el nervio de la rana galvanoscópica sobre los músculos del muslo del conejo, y hacemos que éstos se contraigan por medio de una corriente que actúa sobre el nervio que se ramifica en el muslo] (Matteucci, 1847, p. 290)<sup>18</sup>

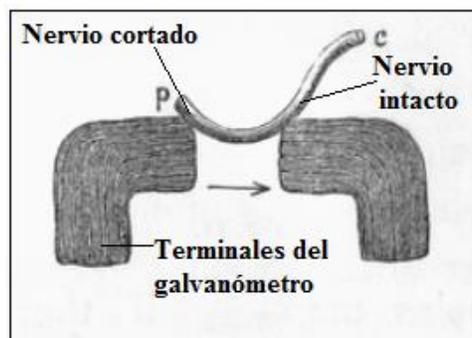
De este montaje se extraen los siguientes puntos, el primero permite observar la propagación de esta corriente a lo largo de los músculos y nervios; el segundo, indica que esta corriente se propaga por el primer segmento hasta el segundo fungiendo como estímulo suficiente para generar la contracción y el tercero, el trayecto de la corriente no pierde intensidad puesto que

<sup>18</sup> Traducción libre del inglés al español.

genera la contracción de la rana galvanoscopia. Lo anterior presenta un acercamiento importante sobre algunos aspectos del concepto moderno del impulso nervioso, desafortunadamente Matteucci rechazada la idea que está corriente pudiese ser generada por los nervios, en cambio las atribuye a los músculos.

### ¿La variación Negativa ¿Por qué es importante?

Modificando el galvanómetro para hacerlo más sensible a corrientes pequeñas aumentando el número de espirales de la bobina interna del instrumento Emil Du Bois Reymond toma secciones de nervios isquiales de ranas y conejos, donde cada sección tiene una parte intacta y un aparte intervenida (cortada), con ello identifica que la sección intacta del nervio es decir la superficie horizontal al ser ubicada en los electrodos del galvanómetro arrojan una gradación positiva en contraste con las zonas más cercanas a la parte cortada del nervio, concluyendo que las zonas cortadas del nervio son negativas y las superficie del mismo es positiva. (ver imagen 19)



**IMAGEN 19** Nervio isquial de rana. Letra c parte intacta del nervio, letra p parte cortada del nervio, la superficie longitudinal del nervio registra una carga positiva, pero entre más se acerca a la sección cortada esta disminuye. (Du Bois-Reymond and Bence J, 1852, p.168)

Adicionalmente identifica que, al medir la corriente generada entre la parte intacta y cortada del nervio, la corriente de demarcación disminuye hasta desaparecer y llega inclusive a ser negativa, llamado a esto la variación negativa.

El término "negativo" describe dos aspectos relacionados de las respuestas electrofisiológicas. Negativo, que significa "disminución", se utilizaba para indicar que la diferencia de potencial entre una superficie intacta y una lesionada disminuye (o desaparece) cuando la electricidad atraviesa el tejido intacto. También significaba que las superficies de la membrana externa de nervios y músculos se vuelven negativas con

respecto a regiones inactivas (distantes) durante la excitación. (Finger y Piccolino, 2011, p. 369)

La variación negativa es pues una forma de hablar del impulso y de caracterizar el cambio de potencial del nervio, no como un dato que se presenta, sino como un proceso observado después de la manipulación y de la experimentación con distintos cortes del tejido, que hacen más sentido para la autora, porque se explica cómo se llega a determinar que el interior y el exterior de este nervio tiene una diferencia de potencial y que este cambia en determinados momentos.

### **Sobre la Velocidad Del Impulso.**

La trascendencia de entender cómo esta corriente de acción o variación negativa se midió hace dos siglos radica en que el control nervioso de los organismos y sus actividades parece tan inmediato, que hace un par de siglos parecía imposible de medir, así que, identificar los experimentos, instrumentos y las conclusiones a las que se llegan para dar cuenta del impulso son un recurso que permite consolidar una imagen más amplia de lo que es el impulso nervioso y el camino que se ha recorrido para dar cuenta del mismo.

Con la construcción de instrumentos como el inductorio, un artefacto que permite el estímulo y registro simultáneo de la corriente de acción de nervios y fibras musculares otras descripciones sobre la velocidad de esta variación negativa y características tales como el todo o nada<sup>19</sup> son posibles.

El inductorio consiste en dos bobinas de alambre superpuestas de las cuales la interior, la primaria, creaba un campo magnético al pasar la corriente por ella. Este campo magnético, a su vez, inducía una breve corriente en la bobina secundaria, la exterior, tanto cuando la corriente en la bobina primaria comenzaba como cuando terminaba. Debido a sus cortas duraciones, las dos corrientes en la bobina secundaria (la de cierre y la de ruptura, bastante más grande) eran muy adecuadas para estimular el nervio; además, la fuerza del estímulo podía variarse ajustando el solapamiento entre las bobinas primaria y secundaria” (McComas, 2011, p. 23)

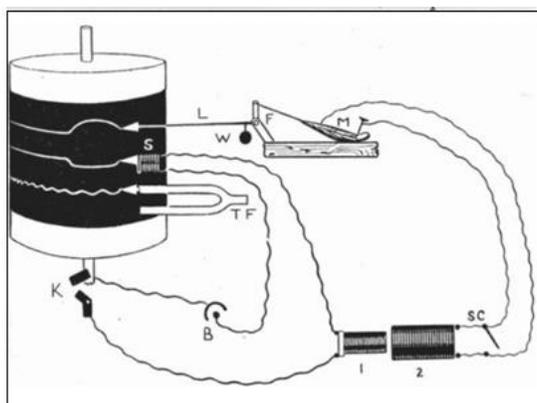
---

<sup>19</sup> El potencial de acción no se despliega inmediatamente con cualquier estímulo, este debe alcanzar los -55 mv mínimo para ser desplegado por toda la fibra nerviosa; si no se alcanza este valor, no se observa contracción en las preparaciones neuromusculares.

Herman Helmholtz físico alemán quien a través de estudios sobre la contracción muscular identificaría que la energía de los músculos no se despliega completamente al momento del estímulo, por el contrario, la energía aumenta gradualmente hasta su máximo y luego disminuye, Helmholtz describe el experimento que le permite hacer esta aseveración de la siguiente manera.

“Ein Stift, der durch den zuckenden Muskel gehoben wird, zeichnet auf einer mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegten Fläche eine Curve, deren verticale Coordinaten den Verkürzungen des Muskels, deren horizontale der Zeit proportional sind.”

[Un lápiz levantado por el músculo en contracción dibuja sobre una superficie que se mueve a velocidad uniforme una curva cuyas coordenadas verticales son proporcionales al acortamiento del músculo y cuyas coordenadas horizontales son proporcionales al tiempo] (Helmholtz, 1850, p. 200)<sup>20</sup>



**IMAGEN 20** Para registrar gráficamente el paso de la corriente eléctrica por medio de la contracción del músculo de una rana, utilizó un tambor giratorio ahumado vertical K, marcado por una aguja móvil (L), que va a subir por la contracción y relajación del músculo M al ser estimulado por un circuito eléctrico conectado a una bobina de inducción e influenciada por una segunda bobina conectada a otro circuito que registrará el tiempo y también poseerá un interruptor B. Al cambiar los puntos de contacto del músculo, al centro del mismo, la duración de la corriente registrada fue menor, estableciendo un promedio de velocidad de 30,8 m/s. (McComas, 2008, p.30).

<sup>20</sup> Traducción del alemán al español realizada con el traductor de Google Lens, ajustada por la autora para mantener la coherencia del texto.



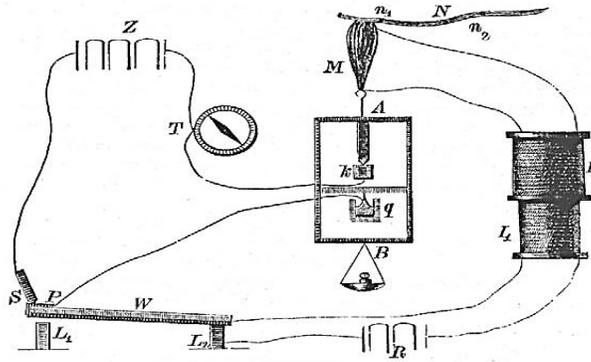
**IMAGEN 21** Trazo formado al estimular el nervio asociado a un musculo de pantorrilla, se genera una curva que es el punto donde inicia la curva d , llega hasta el punto máximo K, luego decrece, en la imagen se observan dos registros que corresponde a lugares diferentes de estimulación del nervio o del musculo Tomado y modificado de Helmholtz, (1850, p.6)

Por otro lado, identificó una demora entre el estímulo y la respuesta del músculo, notando que ésta era más pequeña cuando el nervio era estimulado cerca del centro del músculo, lo que implica que la velocidad del impulso nervioso es finita y no ilimitada como se pensaba anteriormente. Para llegar a esa conclusión Helmholtz realizó diferentes montajes primero conectando un galvanómetro muy sensible que se encendía al estimular una fibra nerviosa y después se apagaba cuando ocurre la contracción registrándose con un reloj, basándose en la idea de que la desviación de la aguja del galvanómetro “dependía no sólo de la intensidad de la corriente eléctrica, sino también del tiempo durante el cual la corriente afectaba a la aguja. Por tanto, también debería haber sido posible deducir el "tiempo de la corriente" a partir de la desviación de la aguja” (Schmidgen, 2002, p.142).

En otra oportunidad, construyó un montaje donde se

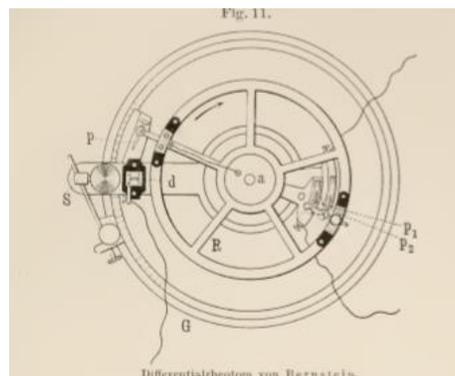
combinaba dos circuitos eléctricos: uno en el que la pila R, al pasar por las espirales de inducción I1 e I2, podía estimular momentáneamente la preparación nervio/muscular N/M; el otro circuito conectaba el galvanómetro T a la pila Z. El interruptor S/P permitía cerrar ambos circuitos eléctricos exactamente al mismo tiempo. Los dispositivos situados en el marco metálico A garantizaban que, tras la contracción del músculo de la rana, el circuito de medición del tiempo se interrumpiera de forma permanente” (Schmidgen, 2002, p.143); (ver imagen 21)

Helmholtz realizó varias pruebas estimulando diferentes lugares del nervio (más cerca y lejos del músculo) lo que le permitió determinar la velocidad de transmisión en aproximadamente 30 m/s.



**IMAGEN 22** descripción de montaje realizado por Helmholtz inspirado en el método de medición balístico de Pouillet. la pila R, al pasar por las espirales de inducción I1 e I2, podía estimular momentáneamente la preparación nervio/muscular N/M; el otro circuito conectaba el galvanómetro T a la pila Z. El interruptor S/P permitía cerrar ambos circuitos eléctricos exactamente al mismo tiempo. Los dispositivos situados en el marco metálico A garantizaban que, tras la contracción del músculo de la rana, el circuito de medición del tiempo se interrumpiera de forma permanente. Tomado de Schmidgen, (2002).

Otro investigador alemán llamado Julius Bernstein, en el curso de comprobar los hallazgos de Helmholtz encuentra que hay unas características de la variación negativa que no habían sido descritas anteriormente, el observa que durante la estimulación de un segmento de nervio con una zona intacta y otra cortada, la corriente de demarcación registrada aumenta y sobrepasa el potencial de reposo del nervio hasta cierto punto y después disminuye lentamente. Llega a esta conclusión después de estimular en dos zonas diferentes un segmento de nervio conectado a un retomo diferencial (ver imagen 23), un instrumento que tiene dos propósitos según Bernstein, (1868) primero generar estímulos instantáneos y sucesivos al nervio en intervalos grandes y segundo, durante estos intervalos se debe cerrar el circuito de la corriente nerviosa durante un periodo de tiempo corto.



**Imagen 23** una rueda que gira alrededor de un eje vertical lleva en su periferia una fina punta metálica que toca suavemente un alambre fino durante una revolución. este contacto cierra la cadena primaria de un dispositivo de inducción durante un tiempo muy breve y los dos golpes de inducción producidos en el rodillo secundario se aplican a la muestra. estas dos descargas se suceden tan rápidamente que pueden considerarse un estímulo momentáneo. Diametralmente opuestas a esta punta metálica se encuentran

otras dos finas puntas metálicas aisladas de la rueda, pero conectadas conductivamente entre sí, que en un punto determinado de la rotación rozan finamente dos superficies de mercurio a una distancia cualquiera corta. a través de este contacto, la cadena nerviosa o muscular se cierra durante un tiempo muy breve, en el sentido de que la corriente a examinar llega a un recipiente de mercurio, a través de las dos puntas, al segundo recipiente y se descarga desde allí. (Bernstein, 1868, p 176)

Hasta este punto se abordan los aspectos relacionados con las características eléctricas más generales del impulso nervioso, sin embargo, este fenómeno como se mencionó al inicio del capítulo involucra características electroquímicas que serán abordadas a continuación.

### **Otras Características Del Impulso**

Desde los tiempos de Walsh hasta Helmholtz se hace presente en sus experimentaciones la presencia de sustancias saladas, alcalinas y venenos, favoreciendo la intensidad de algunos efectos de las contracciones de los músculos; en otras ocasiones sustancias como ceras y el agua dulce inhiben completamente estas contracciones. En los trabajos realizados por Charles Overton en 1902, este moja distintos segmentos de músculos de las ranas y nervios en distintas sustancias, encontrando que:

Si los músculos se colocan en soluciones de azúcar de caña u otros no electrolitos, para los que las fibras musculares son impermeables o sólo lentamente permeables, pierden la capacidad de contraerse a sí mismos y reproducir excitaciones después de algún tiempo. La excitabilidad de los músculos, que se han vuelto in-excitables por la permanencia prolongada en soluciones azucaradas o por constantes contracciones, vuelven gradualmente después de la adición de una pequeña cantidad de cloruro de sodio a las soluciones en cuestión. Los nervios no pierden su excitabilidad por permanecer en soluciones azucaradas puras, etc.; sin embargo, es posible que hayan quedado pequeños rastros de soluciones saladas que permitan el paso del estímulo.

Básicamente, intuye que, a partir de un intercambio entre el sodio del medio extracelular y potasio de la fibra muscular, podría producirse una tensión eléctrica, que tal vez represente una de las fuentes de las corrientes de acción. Esta asociación es relevante porque empieza a aportar observaciones sobre el origen de este potencial de acción, ya que hasta el momento se describe esta *corriente y los cambios que presenta*, pero no cómo se origina, un aspecto que definitivamente apela a la presencia de una membrana plasmática (teoría de membrana) y a la interacción de sustancias con esta estructura, no obstante, en este capítulo no se abordan estos aspectos del impulso, en tanto constituyen por sí mismo fenómenos, eventos y estructuras complejas que ameritarían capítulos adicionales del estudio histórico crítico, por ello se mencionan solamente algunas observaciones de Overton, que permiten abordar de manera

muy general la presencia de estos iones en la generación del potencial de acción sin introducir otros eventos que extenderían mucho más el análisis que se pretende en este trabajo.

Overton concluye que:

Wenn wir nun weiter fragen, in welcher Weise die Natrium- salze bei der Erregungsleitung und der Contraction der Muskeln be- theiligt sein könnten, so scheinen sich nur zwei Möglichkeiten dar- zubieten. Entweder müssen die Natriumsalze einen bestimmten Einfluss auf die Oberflächen-Eigenschaften der Muskelfasern, d. h. auf die oberflächlichste Schicht des Sarkoplasmas (das Sarkolemma kann hier wohl nicht in Betracht kommen) ausüben, dessen Wegfall die Contraction unmöglich macht, ohne dass die Natriumsalze resp. Natriumionen in die Muskelfasern eindringen, oder aber es muss bei der Contraction resp. bei der Erregungsleitung ein gewisser Aus- tausch zwischen Kationen, die sich im Innern der Muskelfaser be- finden (also am wahrscheinlichsten von Kaliumionen und den Natriumionen in der die Muskelfasern umspülenden Lösung) statt.

[Si ahora nos preguntamos de qué manera podrían intervenir las sales de sodio en la conducción y contracción de los músculos, parece que sólo hay dos posibilidades. O bien las sales de sodio deben ejercer cierta influencia sobre las propiedades superficiales de las fibras musculares, es decir, sobre la capa más superficial de la sarcoplasma (aquí no se puede considerar el sarcolema), cuya ausencia hace imposible la contracción sin que las sales de sodio o los iones de sodio penetren en las fibras musculares. Los iones de sodio penetran en las fibras musculares o debe producirse un cierto intercambio entre los cationes que se encuentran en el interior de las fibras musculares (es decir, muy probablemente iones de potasio e iones de sodio en la solución que rodea las fibras musculares) durante la contracción o la conducción de la excitación] (Overton, 1902, p.381)<sup>21</sup>

## ¿Por Qué Hablar de Nervios y no de Neuronas?

---

<sup>21</sup> Traducción del alemán al español realizada con el traductor de Google Lens, ajustada por la autora para mantener la coherencia del texto.

A lo largo de este capítulo, poco a poco fue evidente para la autora que se describieron muchas características del impulso sin tener una idea de neurona o de la membrana plasmática, sin embargo, esto no impidió hacer importantes descripciones sobre el fenómeno.

Las neuronas son conocidas como células altamente especializadas que “producen y transmiten señales eléctricas denominadas impulsos nerviosos o potenciales de acción” (Solomon et al., 2013); no obstante, es interesante reconocer que la neurona como unidad funcional del sistema nervioso no se identificó sino hasta finales del siglo XIX con la técnica de impregnación argéntica (reacción negra) desarrollada por Camilo Golgi en 1873 quien paradójicamente sostenía que el tejido nervioso se constituye por un tejido continuo de células fusionadas (teoría reticular), mientras que su principal opositor Santiago Ramón y Cajal en 1887 usando las mismas técnicas de Golgi identificó las terminaciones neuronales libres (axones y dendritas) en diferentes tejidos nerviosos, apoyando la idea de la discontinuidad neural, es decir, de la independencia de las neuronas que constituyen el tejido nervioso.

Considerando que actualmente, al hablar del impulso nervioso se contemplan la neurona como la unidad por donde la señal electroquímica es generada y transmitida, es curioso que durante casi 19 siglos los enormes avances en la comprensión de este fenómeno fueron posibles trabajando sobre la idea de cordón nervioso y no sobre la de neurona, aun cuando estas explicaciones, por ejemplo en tiempos de Galeno( siglo III) aludían a espíritus moviéndose a través de cordones huecos o como Giovanni Borelli y Albrecht Von Haller quienes intuían que por estos cordones debía transitar algo que no eran espíritus, pero tampoco líquidos, sino un tipo de sustancia o “algo” misterioso lo suficientemente rápido para mover una extremidad, generar dolor o irritar alguna parte del cuerpo ( Duque et al., 2014).

Son las observaciones de Antonie van Leeuwenhoek hechas en un microscopio de una sola lente construido por él, sobre un corte transversal de un nervio periférico y de la médula espinal de una vaca, lo que lo llevaría a describirlos como “finos vasos dispuestos longitudinalmente” ( Mc comas, 2001) una observación similar a la hecha por Felice Fontana en el siglo VXIII quien los describe como nervios formados “por un gran número de cilindros transparentes, homogéneos, uniformes y simples” ( MC Comas, 2001,p 11).

Aunque actualmente los nervios se definen como agregaciones de “cientos o miles de axones envueltos entre sí en tejido conectivo” (Solomon et al., 2013), en el pasado el desconocimiento de su estructura interna no impidió que se conocieran algunos mecanismos de acción que viajan a través de estos tejidos. Para propósitos de este trabajo resulta oportuno abordar la

imagen de cordón nervioso desde Leeuwenhoek y Fontana que a pesar de las limitaciones que podemos detectar, sigue siendo una mirada retrospectiva del trabajo que llevó a la caracterización del impulso.

Con lo que se ha mencionado hasta ahora, se pretende destacar que en este trabajo se ha optado por no abordar la neurona al tratar el tema del impulso nervioso y sus aspectos eléctricos, ya que, la caracterización eléctrica presentada en este trabajo incluye descripciones sobre corrientes, cambios y velocidades, entre otros, que se han desarrollado sin la necesidad de hablar de la neurona; además, se ha tomado en cuenta que la intervención en el aula se llevará a cabo con estudiantes de quinto grado. En ese sentido, parece inadecuado introducir una unidad como la neurona, que implica una comprensión de una organización biológica, química y física que los estudiantes de este nivel escolar no han explorado aún.

### **TEMBLADORES Y TORPEDOS, UN CAMINO HACIA EL IMPULSO NERVIOSO. (Diseño de la intervención.)**

Es pertinente señalar que el diseño de la intervención en el aula se configura como un entramado que se nutre de diversas fuentes, tales como el análisis histórico crítico, la experiencia de aula, el lenguaje, la experimentación y los elementos reconstruidos por parte de la autora sobre el impulso nervioso. Dentro de este tejido, se establece un camino que busca centrar la atención en las características eléctricas fundamentales del fenómeno. Estas características han sido reconocidas a lo largo de la indagación histórica como elementos clave para promover una mirada más comprensiva del impulso nervioso.

A continuación, se presentan los aspectos disciplinares a desarrollar en las sesiones.

- El reconocimiento de eventos eléctricos presentes en tejidos animales.
- La generación del impulso nervioso a partir de la presencia de sustancias conductoras en el cuerpo de los animales.
- El reconocimiento de los nervios como tejidos por donde se trasmite el impulso.
- La transmisión del impulso y sus características.
- El paso del impulso a través de los nervios
- La velocidad de transmisión.

- Los efectos de esta señal eléctrica sobre el cuerpo y otros organismos.

Por otra parte, el diseño de las sesiones no solo implica considerar los aspectos disciplinares relacionados con el fenómeno que se está abordando, también requieren la comprensión de otros elementos, tales como una lectura de las dinámicas específicas del aula, teniendo en cuenta las necesidades, intereses y características particulares de la población estudiantil a la que van dirigidas estas sesiones; el criterio para establecer las secuencias de las actividades y los objetivos esperados, así como la creación y selección de recursos para lograr el propósito establecido con cada una de ellas. Entonces el ejercicio de diseño adquiere un sentido profundo, en tanto se convierte en una actividad reflexiva sobre la labor docente, los saberes del maestro y el impacto de su práctica.

Las actividades serán trabajadas con 27 estudiantes de grado quinto del Colegio Agustiniانو Ciudad Salitre ubicado en la localidad de Fontibón, que atiende una población desde preescolar hasta grado once. El colegio es privado, de carácter católico, con una intensidad en inglés. El área de ciencias naturales para este nivel tiene una intensidad horaria de 5 horas a la semana donde los estudiantes reciben clase en español e inglés. El aula cuenta con escritorios individuales, acceso a internet y un tablero electrónico permanente.

Los estudiantes rondan las edades entre los 10 y 11 años. Se caracterizan por su participación permanente y disposición frente a las temáticas relacionadas con la ciencia, generalmente comparten con naturalidad anécdotas, dudas y preguntas sobre aspectos trabajados en clase o situaciones de la vida cotidiana que les generen interés. Durante el trabajo con este grupo se observa una predilección de los niños sobre actividades experimentales y aquellas donde deban manipular materiales e instrumentos especializados de laboratorio, además, las actividades colectivas y de socialización en grupos arrojan mejores resultados.

En la malla curricular de este nivel se propone el reconocimiento de las divisiones del sistema nervioso, los órganos y estructuras principales del mismo, así como sus funciones. El objetivo del trabajo de estas temáticas en el aula se enfoca en el reconocimiento de las estructuras y funciones generales, sin embargo, la perspectiva fenomenológica del sistema no se aborda.

El diseño de las actividades de la intervención en el aula está pensado desde una perspectiva de la investigación cualitativa, donde se trata de identificar la construcción de explicaciones de los estudiantes sobre el impulso nervioso, a partir del análisis de experiencias como la lectura

de cuentos, la experimentación, la interpretación, la creación, el trabajo colaborativo entre otros; Uwe Flick (2015) las resumen en tres aspectos:

- analizando la experiencia de los individuos o de un grupo,
- analizando sus interacciones y comunicaciones
- analizando sus escritos (dibujos, videos, imágenes).

Abordar el impulso nervioso como fenómeno de interés, pretende que los estudiantes desarrollen su propia comprensión a partir de experiencias, que les permitan tejer conexiones entre la curiosidad, el conocimiento, las vivencias personales y las preguntas e incógnitas que surgen al explorarlo, tal como señala Malagón et al. (2013). “Las descripciones e interpretaciones que demanda la comprensión de una fenomenología exigen la organización de una serie de experiencias y observaciones intencionadas, esto es una descripción detallada del fenómeno” (p.122)

Como resultado, se busca lograr una consolidación del fenómeno, en la que el estudiante pueda expresar con sus propias palabras los aspectos que ha identificado sobre el impulso nervioso y los pueda comunicar en un lenguaje personal. “el sujeto construye el fenómeno en la medida que da cuenta de las condiciones que permiten su existencia, de las variables que determinan sus cambios y de los procesos que lo constituyen”. (Orozco et al, 2003, p.4)

A continuación, se describen las sesiones a desarrollar con los estudiantes y el objetivo de las mismas.

**Table 1 Descripción de la sesión 1.**

<b>SESIÓN 1. “ANGUILAS SUPERPODEROSAS” FICCIÓN O REALIDAD.</b>	
<b>Tiempo: 60 minutos</b>	Los estudiantes serán divididos en 3 grupos, cada uno leerá un cuento sobre los efectos de los peces eléctricos sobre otros organismos. (dolor, adormecimiento, muerte, tratamientos médicos). (Ver anexo 1) Las tres historias están inspiradas en narraciones transmitidas a lo largo del tiempo sobre los efectos del pez torpedo y la anguila Sudamérica, uno de los más reconocido es la narración de Alexander Von Humboldt sobre su encuentro con estos animales en la selva venezolana.
<b>Propósito:</b> Identificar en los dibujos y respuestas de los estudiantes	
	Después se solicitará a los grupos que comentan las características de

<p>las características que reconocen de los efectos de los peces y su posible asociación con un evento eléctrico.</p>	<p>sus historias y las primeras impresiones. La docente orientará la socialización con las siguientes preguntas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Qué tienen en común las historias?</li> <li>2. ¿Qué le ocurre a los caballos y las personas que tocan estos animales?</li> <li>3. ¿Quién o qué podría estar causando estos efectos?</li> <li>3. ¿Dónde y cómo son los lugares donde ocurren estas historias?</li> </ol> <p>Las preguntas anteriores están pensadas para dirigir la discusión hacia los peces eléctricos. Se solicitará a los estudiantes que en una hoja dibujen cómo se imaginan a las anguilas descritas en cada historia.</p>
---	--

**Table 2 Descripción de la sesión 2 y propósito de la actividad.**

<b>SESIÓN 2. ACTUANDO COMO PECES.</b>	
<p><b>Tiempo 40 minutos.</b></p> <p><b>Propósito:</b> Identificar las características que reconocen los estudiantes sobre los efectos de los peces eléctricos y su posible asociación con eventos eléctricos.</p>	<p><b>Descripción:</b></p> <p>Se organizará a los estudiantes en grupos de 4 personas, cada uno recibirá una tarjeta con una situación o un efecto causado por los peces eléctricos, tales como sensaciones de adormecimiento corrientazo, sonidos, transmisibilidad de los efectos a través de tejidos, objetos aislantes y conductores, así como el despliegue de ataques sin la necesidad de contacto directo con el animal. Estas historias cortas, no solo se inspiran en los relatos de los peces eléctricos, sino también en experimentos y observaciones llevadas a cabo por Walsh y Cavendish sobre el comportamiento de estos organismos. (Ver anexo 2)</p> <p>Los estudiantes representarán con gestos o interpretaciones las situaciones narradas. Los otros grupos tendrán que adivinar el efecto representado por sus compañeros. Las respuestas serán consignadas en un cuadro que los niños completarán con cada representación.</p> <p>¿Qué objetos o situaciones podrían causar efectos similares a los narrados en las tarjetas? (describe ampliamente). Los estudiantes tendrán 10 minutos para socializar con sus grupos y registrar la información en el cuadro.</p>

	<p>Se espera encontrar alguna asociación entre los efectos de los peces y los efectos causados por la corriente eléctrica.</p> <p>Para cerrar la sesión los estudiantes compartirán las situaciones en las que encuentran dichas similitudes y la docente conducirá la conversación hacia la electricidad.</p> <p>Esta sesión estará acompañada de algunas imágenes del pez torpedo y el pez gato, así como sus efectos. Al finalizar la docente puntualizará de ser necesario en los peces como los causantes de dichos efectos.</p>
--	---

**Table 3 Descripción de la sesión 3 y propósito de la actividad.**

<p align="center"><b>Sesión 3. SOBREVIVIENDO AL ATAQUE. ¿QUÉ SE SIENTE SER ATACADO POR UNA ANGUILA?</b></p>	
<p><b>Propósito:</b></p> <p>Identificar las posibles asociaciones que establecen los estudiantes entre las sensaciones ocasionadas por el aparato de gimnasia y los efectos causados por los peces eléctricos relatados en la sesión anterior.</p> <p>Tiempo. 40 minutos</p>	<p>Retomando las situaciones de la sesión anterior, los estudiantes podrán experimentar algunos de estos efectos de los peces por medio de un aparato de gimnasia pasiva que envía pequeñas descargas y genera contracciones involuntarias de los músculos donde son posicionados.</p> <div data-bbox="724 1150 1127 1570" data-label="Image"> </div> <p align="center"><b>IMAGEN 24</b> Aparato de gimnasia pasiva utilizado con los niños.</p> <p>Se solicitará que cada estudiante describa su experiencia y lo que siente durante y después del contacto con el aparato. ¿Qué sentiste? ¿Dónde empezó? ¿Percibiste la sensación en un lugar diferente a donde estaba ubicado el electrodo?</p>

	<p>Después de unos minutos se les preguntará a los voluntarios ¿Tienes alguna sensación diferente en la extremidad después del ejercicio?</p> <p>Más tarde se mostrarán secciones de videos con ataques de anguilas y sonidos producidos por ellas, para que los estudiantes asocien con mayor fuerza los efectos de los peces con fenómenos eléctricos. Video sin audio, minuto 1:11 a 1:17, 2:48- 3:21, 3:27 a 3:33. <a href="https://www.youtube.com/watch?v=vuHuKvhG88U">https://www.youtube.com/watch?v=vuHuKvhG88U</a></p> <p>Finalmente se dejará la pregunta.</p> <p>¿Es electricidad lo que producen estos peces? ¿Cómo lo hacen?</p>
--	--

**Table 4 Descripción de la sesión 4 y propósito de la actividad.**

<p align="center"><b>SESIÓN 4. UN ENCUENTRO CON EL PEZ TORPEDO</b></p>	
<p><b>Propósito:</b> Reconocer las posibles asociaciones que establecen los estudiantes entre las sensaciones ocasionadas por el pez torpedo artificial y las sensaciones causadas por máquinas eléctricas.</p> <p>Identificar las primeras observaciones de los estudiantes sobre los órganos del pez y su posible relación con los efectos eléctricos generados por las</p>	<p><b>Descripción:</b> "En esta sesión, se presentará un modelo del pez eléctrico, inspirado en el pez artificial diseñado por Henry Cavendish, que utilizó para reconocer características como la transmisibilidad de los efectos en medios acuáticos en agua salada y dulce, así como la similitud entre las sensaciones descritas en relación a corrientazos y hormigueo, causados tanto por las descargas de las botellas de Leiden como por los efectos producidos por los peces torpedos.</p> <p>Durante esta sesión, los estudiantes tendrán la oportunidad de experimentar algunas de las sensaciones previamente descritas al entrar en contacto con el modelo del pez. Además, este modelo ofrece una representación de los órganos eléctricos, permitiendo a los estudiantes manipularlo y explorar la ramificación nerviosa, así como otras características del organismo." (ver anexo 3, para conocer los detalles del pez torpedo)</p>

pilas de volta.

Identificar en las respuestas de los estudiantes las relaciones que establecen entre la pila de volta y los órganos eléctricos.



**IMAGEN 25** Pez eléctrico construido por Gina Robayo, si este es tocado simultáneamente en el dorso y en el vientre, el estudiante recibirá un leve choque. (Para mayor detalle, ver anexo 3)

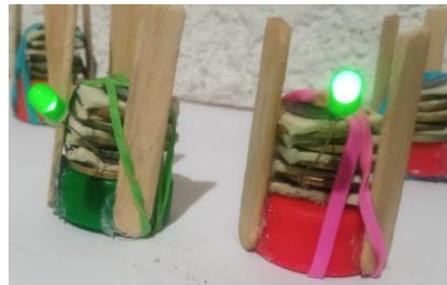
Pregunta orientadora: Asumiendo que es electricidad lo que producen los peces. ¿Cómo la generan?

En la experiencia de los estudiantes se solicitará que indiquen en qué partes del pez sienten el corrientazo, con el propósito de mostrar parte de la anatomía interna del pez, específicamente el electro placas, para familiarizar a los estudiantes con esas estructuras. además de presentar la posición de los órganos eléctricos de la anguila y el pez gato.



**IMAGEN 26** Superior: materiales para la construcción de la pila de Volta. Inferior: aula de clase.

Por otra parte, los estudiantes realizarán un modelo de órgano eléctrico inspirado en la pila Alessandro Volta con monedas de cobre y zinc humedecidas en agua salada. Se buscará que los estudiantes encuentren similitudes entre la representación de la batería de Volta inspirada en los órganos eléctricos y los órganos del modelo, también se trabajará sobre los aspectos morfológicos y anatómicos de los peces eléctricos especialmente los órganos de Sacks, de Hunter y el órgano eléctrico principal (se hablará de su apariencia y de la organización de sus células en microplacas).



**IMAGEN 27** PILAS DE VOLTA, POR GINA ROBAYO.

En un cuadro comparativo los estudiantes dibujarán los órganos y la posición de las microplacas versus la pila de volta y sus secciones para fortalecer la asociación entre una máquina que produce electricidad y un órgano eléctrico, los estudiantes

	<p>resolverán las siguientes preguntas</p> <p>¿Qué parte del pez representan las monedas de la pila de volta, qué parte la sal, el bicarbonato y qué parte los cables? ¿De qué está hecho ese cordón y cómo funciona?</p>
--	---

**Table 5 Descripción de la sesión 5 y propósito de la actividad.**

<b>SESIÓN 5. LOS CORDONES NERVIOSOS.</b>	
<p><b>Propósito.</b></p> <p>Identificar las características y funciones que los estudiantes atribuyen a los nervios.</p>	<p>En esta sesión se hará alusión a la forma como están interconectadas las columnas de electro placas (serie y paralelo) en los órganos eléctricos, para realizar descargas con enormes voltajes. Donde los cordones nerviosos estarán representados por cables.</p> <p>Utilizando el modelo de la batería de volta, la docente mostrará tres videos donde se presentan varios circuitos con columnas interconectadas en serie y paralelo que encienden un bombillo led, para visibilizar que la estructura genera corriente; después se modificarán las columnas para representar el daño en uno de los cordones al desconectar uno de los cables que encienden los bombillos.</p> <div data-bbox="727 1270 1101 1766" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;"><b>IMAGEN 28</b> CIRCUITOS DE PILAS EN PARALELO Y EN SERIE. POR GINA ROBAYO</p>

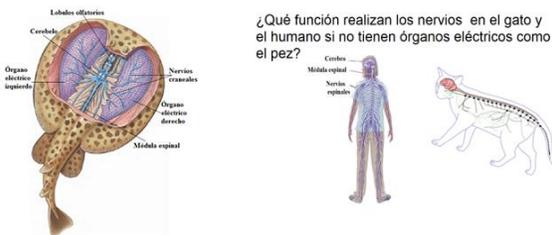
La docente propondrá que en parejas discutan las siguientes preguntas

- ¿Qué papel tienen estos cordones en el pez? teniendo en cuenta que al cortarlo deja de emitir su efecto.
- ¿Dónde son visiblemente más abundantes los cordones, hay alguna zona donde coinciden?
- ¿Estos cordones están conectados a otros lugares en el pez? ¿Qué función crees que desempeñan?
- ¿Conoces de otros animales que puedan tener estos cordones? ¿Los humanos tenemos estos cordones?

### Segunda parte

#### Nervios presentes en otros animales ¿Qué papel cumplen?

Se organizará el grupo de a parejas, cada grupo observará una imagen con los nervios visibles del pez torpedo en comparación con otros animales, el propósito es indagar sobre la función que consideran que tiene esos nervios en las partes a las que están conectadas, considerando que no todos los animales tienen órganos eléctricos. Los estudiantes responderán la siguiente pregunta ¿Qué función realizan estos nervios en el gato y el humano si no tienen órganos eléctricos como el pez?



**Imagen 29 izquierda:** imagen de los nervios, la medula y el cerebro del pez torpedo.

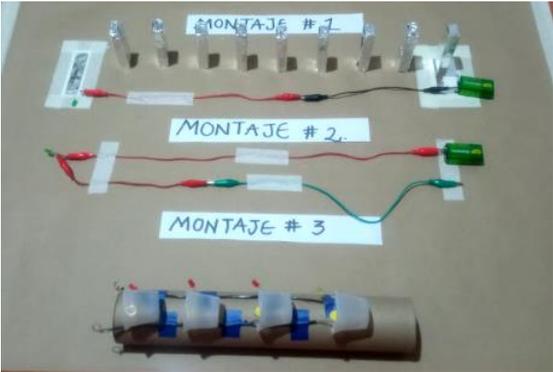
**derecha:** imágenes sobre los nervios en una persona y un gato.

En seguida se presentará un video donde se muestra que al lastimar o cortar dichos nervios estos pueden ocasionar una parálisis; además se mostrará una imagen de los nervios irradiados de la médula espinal con distintos órganos. Esta tiene el propósito de indicar que los nervios controlan y perciben estímulos que vienen de distintas partes del cuerpo.

finalmente responderán la siguiente pregunta

	¿Los nervios funcionan igual que los cables?
--	--

**Table 6 Descripción de la sesión 6 y propósito de la actividad.**

<b>SESIÓN 6. MÁS QUE SIMPLES CABLES, UNA DISTINCIÓN ENTRE LOS NERVIOS Y LOS CABLES DE UN CIRCUITO.</b>	
<p><b>Propósito:</b> Identificar las diferencias que los estudiantes reconocen entre los nervios y los cables.</p>	<p><b>Descripción:</b> En esta sesión se abordarán aspectos sobre la velocidad de la transmisión descritos por Du Boi Reymond y Helmholtz, la intensidad de un estímulo para que desencadene un impulso y la presencia de una secuencia de sustancias en el cordón nervioso para que se dé el impulso. (ver anexo 4)</p> <p>Se presentarán tres montajes: Montaje 1: circuito construido con fichas de Jenga que se cierra al tumbar una de las fichas y activar una reacción de cadena para encender un bombillo. Con ella se busca representar la transmisión en un solo sentido a través de una reacción en cadena del impulso nervioso.</p> <p>Montaje 2. Un circuito simple con una pila de 9v y un diodo led conectado a través de cables.</p> <p>Este montaje representa un circuitito común donde la corriente viaja a una velocidad mayor en comparación con un nervio.</p> <p>Montaje 3. Un tubo de encendido por medio de reacción en cadena que se activa por el paso de una sustancia salada. Busca representar no solo la necesidad de una secuencia de eventos sino la presencia de una sustancia conductora que permite que estos tejidos generen corriente.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p><b>IMAGEN 30</b> montajes para trabajar sobre las distinciones entre los cables y los nervios. Gina Robayo.</p> <p>Los estudiantes realizarán un cuadro comparativo, estableciendo las diferencias entre los montajes, en relación a la velocidad de</p>

transmisión y otras características que encuentren en los modelos; con el montaje uno y tres se abordan aspectos del estímulo, umbral, y transmisión de la señal.



**IMAGEN 31** Montaje 3. Transmisión secuencial de la señal a través de un líquido conductor (agua salada). por Gina Robayo

Finalmente, los estudiantes escribirán las características que reconocen de los nervios.

**Table 7 Descripción de la sesión 7 y propósito de la actividad.**

### SESIÓN 7. ¿CÓMO SE GENERA ESA CORRIENTE ELÉCTRICA EN LOS HUMANOS Y OTROS ANIMALES, SI NO TENEMOS ÓRGANOS ELÉCTRICOS?

**Propósito:**  
Reconocer en la respuesta de los estudiantes las características que emplean para describir el impulso nervioso.

**Descripción:** Se retomará la experiencia de la pila de volta donde se hará énfasis en que la corriente eléctrica se puede formar a partir de la diferencia de metales como el zinc y el cobre conectados a través de un medio húmedo.

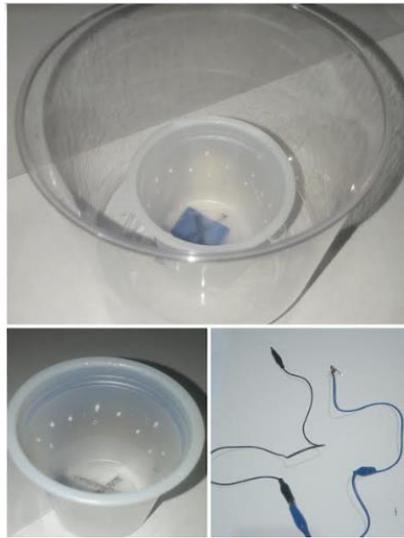
Al interior de los nervios también existe una diferencia de sustancias que al entrar en contacto generan pequeñas corrientes eléctricas que se propagan por todo el cordón, así es como un tejido puede generar una corriente.

Se emulará un cordón nervioso con dos regiones, el exterior del nervio será representado por un vaso plástico y el interior del nervio será representado por una copa de plástico con pequeños agujeros en sus paredes. La copa pequeña será asegurada dentro del vaso plástico.

Enseguida, se agregará agua destilada hasta que la copa cubra los agujeros, pero, que no llene todo el recipiente. Después se

introducirá un circuito de cables conectados a una pila de 9 voltios que tiene tres diodos led, dos de ellos en los extremos del circuito, luego se cerrará el circuito de cables introduciendo las patas libres de los diodos en el agua para mostrar que en este tipo de agua no fluye la corriente.

Inmediatamente, se agregará al vaso plástico agua salada y se introducirán nuevamente los cables dentro de la copa para que los estudiantes vean el brillo del bombillo y puedan relacionarlo con la entrada de sal.



**IMAGEN 32** Representación de cordón nervioso, la copa representa el interior de cordón y el vaso el medio externo del cordón. (para mayor de detalle, ver anexo 5)

De esta manera se busca abordar características adicionales de los nervios, por ejemplo: la presencia de sustancias conductoras alrededor y la permeabilidad de estos tejidos a sustancias como el sodio. Lo que representa la señal eléctrica que transmite el mensaje para comunicarse con otros órganos o realizar diferentes funciones

Se les pedirá a los estudiantes que realicen una lista de las condiciones necesarias para que se dé y se transmita esta señal nerviosa donde se pretende encontrar aspectos como la diferencia de sustancias o cargas, la velocidad, la intensidad, el umbral y los efectos que generan para controlar distintas funciones en el cuerpo.

## **SISTEMATIZACIÓN DE TEMBLADORES Y TORPEDOS.**

En el ejercicio de sistematización de las actividades propuestas, se busca encontrar los elementos que aparecen en las actividades trabajadas por los niños, para identificar en las explicaciones construidas, los sentidos y significados sobre la característica eléctrica del impulso nervioso que se logran con la intervención en el aula.

Por otra parte, se plantea esta sistematización como una posibilidad de reflexión sobre la construcción personal del impulso, así como las experiencias, actividades y saberes del maestro, que son susceptibles de transformarse a través de esta intervención, como lo menciona Oscar Jara (2018) es un esfuerzo por comprender la experiencia desde otra posición, donde se hace necesario ordenar la experiencia y analizarla desde las relaciones, contexto e intenciones con que se desarrollan, es decir, convertir la experiencia de la intervención en un objeto de transformación, en un espacio de confrontación y discusión.

La sistematización es aquella interpretación crítica de una o varias experiencias que, a partir de su ordenamiento y reconstrucción, descubre o explicita la lógica y el sentido del proceso vivido en ellas: los diversos factores que intervinieron, cómo se relacionaron entre sí y por qué lo hicieron de ese modo. La sistematización de experiencias produce conocimientos y aprendizajes significativos que posibilitan apropiarse críticamente de las experiencias vividas (sus saberes y sentires), comprenderlas teóricamente y orientarlas hacia el futuro con una perspectiva transformadora. (Jara, 2018, p. 61)

A propósito de lo anterior, Marco Raúl Mejía señala que

La “Sistematización es una construcción desde las voces de los actores y en su propio tono y narrativa. Va a ser esa capacidad de dar cuenta de su quehacer mediante el cual los actores de práctica se convierten en actores de sistematización. No es solo dar cuenta de qué se hace, sino también de sus sentidos y significados.” (Mejía, 2010, p. 6)

A su vez María Mercedes Bernachea y María de la Luz Morgan (2010) señalan sobre la sistematización, como un proceso reflexivo que se consolida como una herramienta introspectiva de la propia intervención, abordando tanto los aspectos positivos como aquellos que requieren mejorar en la planificación de actividades.

En última instancia, quien realiza la sistematización tiene como objetivo la generación de conocimiento acerca de su propia práctica, trascendiendo la transformación de su entorno y, al

mismo tiempo, su propia transformación personal: “el sistematizador pretende producir conocimientos sobre su propia práctica, sobre sí mismo y su acción en el mundo (que transforma su entorno y lo transforma a él); forma parte, de aquello que quiere conocer y desarrolla una acción intencionada que busca la transformación”( Barnechea y Morgan, 2010, p .102)

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizará una revisión de los escritos de los estudiantes contrastados con los propósitos de cada sesión y las construcciones que se puedan apreciar en sus respuestas, así como una reflexión sobre la experiencia del aula, los elementos y modelos empleados, los aspectos a mejorar o profundizar y cualquier aspecto relevante que pueda aportar a la transformación o cambio sobre la comprensión del fenómeno.

### Sobre Las Anguilas Superpoderosas. Sesión 1.

**Table 8 Sistematización de la sesión 1.** En este apartado se presenta una tabla donde se establecen dos agrupaciones relacionadas con las representaciones de la forma de los animales y los efectos de los peces, hechos por los estudiantes a partir de los cuentos.

<b>FORMA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS PECES ELÉCTRICOS</b>	
<b>Pez torpedo.</b>	<b>Observaciones sobre la morfología del pez:</b>
<p>Algunos estudiantes presentan características típicas de la forma del pez torpedo, (Ovalada y ancha en la cabeza con una cola delgada y pequeña en comparación con el resto del cuerpo), no obstante, los estudiantes se toman libertades artísticas para completar sus representación, dándole colores al cuerpo del pez y dibujando ojos con formas antropomórficas ya que esta información no es proporcionada por el cuento.</p> <p><b>Anguila sudamericana:</b></p>  <p>La gran mayoría representa la anguila con forma alargada de color verde, en algunos dibujos se aprecian zonas parecidas a las aletas dorsales de algunos peces y otros los representan de forma similar, pero con lengua y patrones en la piel parecidos a las serpientes.</p>	<p>Es importante resaltar que la gran mayoría de los estudiantes previo a la lectura de los cuentos, no estaban familiarizados con las características morfológicas de estos peces, aunque algunos sí habían escuchado el nombre de la anguila, no han visto imágenes de los mismos; sin embargo, representaron formas típicas de estos organismos siguiendo las descripciones del texto.</p>  

<p>Hay representaciones de la anguila con forma alargada, pero con una curva irregular en los bordes, sin mayor detalle.</p> <p>Otros estudiantes decidieron hacerlas alargadas, pero con formas geométricas ya que se les facilita realizar el boceto de esa manera.</p>  <p>Un grupo de tres estudiantes representó la anguila con forma humanoide, es decir dos brazos, dos piernas, ojos y dientes prominentes, además de garras. Igualmente, algunos estudiantes usaron formas de <i>pokemones</i> para representar las anguilas. Un estudiante dibuja la anguila con un cuerpo alargado de cabeza ancha y dientes prominentes.</p>	 <p>Dado que el referente más cercano de los estudiantes a las características descritas en los cuentos son las serpientes y los gusanos, es de esperarse que en algunas de las representaciones aparezcan estas características.</p> <p>En cuanto a los dibujos de anguilas humanoides, se encuentra una relación con el cuento del Circo la Roché, ya que se menciona a mujeres barbudas, hombres lobo y criaturas con características humanoides similares, lo que hace que los niños se quedaran con esa imagen en particular.</p>
<b>REPRESENTACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS PECES ELÉCTRICOS.</b>	
<b>Efectos</b>	<b>Observaciones sobre los efectos del pez</b>
 <p>Efectos representados como rayos e imágenes alusivas a la corriente o electrocución, la gran mayoría de color amarillo.</p>  <p>Representación de temblores cuando se forman cadenas de personas o se toca algún pez.</p>  <p>Algunos estudiantes escriben onomatopeyas de dolor cuando se tocan los peces.</p> <p>Curación o remedio:</p>	<p>Los sonidos onomatopéyicos de los cuentos del Circo y el Temblador fueron útiles para que los estudiantes asociaran los efectos de los peces con fenómenos eléctricos como rayos y arcos amarillos erráticos.</p>  <p>La transmisibilidad de los efectos de la anguila por medio del contacto directo y a distancia se hace manifiesto en las representaciones de los estudiantes, ya que, dibujan temblores y corrientes eléctricas pasando por una cadena de personas lo que puede insinuar en los jóvenes que estos efectos se transmiten a través de los seres vivos.</p> <p>En relación a los usos medicinales, los estudiantes se limitan a representar lo narrado en el cuento, sin especificar los efectos que causan en la extremidad como</p>

Se muestra una persona con el pie morado en algunos dibujos, ingresando la extremidad en un balde con un pez torpedo.	adormecimiento o entumecimiento.
---	----------------------------------

Con esta primera sesión, los estudiantes se familiarizaron con algunas de las características morfológicas descritas sobre las anguillas eléctricas, que recuerdan aspectos descritos por Linneo en 1766, donde dichos animales presentan un cuerpo alargado y cilíndrico, con hileras de dientes redondos y un cuerpo provisto de una aleta anal que le da la apariencia de tener una cola flexible en forma de vela.

Adicionalmente gran parte de los estudiantes utilizan representaciones tradicionalmente asociadas a arcos y corriente fluyendo, como los producidos por el sonido de algunos electrodomésticos o relacionados con situaciones donde se ocasionan cortos circuitos (le cogió la corriente), además los espasmos musculares también les ayudan encontrar una relación con los efectos ocasionados por eventos eléctricos. Como se mencionó en apartados anteriores es importante recordar que los estudiantes traen consigo un bagaje experiencial que les permite tejer nuevas relaciones, ampliando la experiencia a partir de estos cuentos.

En relación con la actividad planteada, las tres historias resultaron ser un material que promovió las habilidades artísticas y permitió concentrar la atención en los efectos del pez, que en la gran mayoría de los dibujos se asociaron con eventos eléctricos tales como rayos y flujo de corriente; es importante señalar la necesidad de hacer una lectura en voz alta, puntuada y con la correcta entonación de las onomatopeyas, puesto que al principio los niños tuvieron dificultad para reconocer los efectos provocados por los peces, debido a que saltaban las pausas del texto o no sabían cómo entonar algunas palabras, cuando se enfatizó en los sonidos onomatopéyicos, los estudiantes se les facilitó asociar estos efectos con el evento eléctrico.

En retrospectiva, antes del siglo XVII esta relación no fue posible ya que no existían máquinas eléctricas o botellas de Leyden que generasen efectos similares, lo que hizo de los venenos y espíritus animales una explicación más plausible de lo observado. Serían John Walsh y Henry Cavendish quienes a finales del siglo XVIII demostraron exitosamente que los fenómenos causados por los peces en principio son eléctricos, aunque estos no lograron identificar el mecanismo de producción de dichos efectos su aporte fue importante en el devenir del estudio de la electricidad animal. A pesar de que los estudiantes no conocen el funcionamiento de los órganos eléctricos o el mecanismo de acción en dichos peces, es un gran avance para las

próximas sesiones la relación inicial que hacen entre la actividad eléctrica y la transmisión de señales a través de los tejidos animales.

### Sobre la Sesión 2. Actuando Como Peces

**Table 9 Sistematización de la sesión 2.** En esta tabla se presentan las agrupaciones de los efectos identificados por los estudiantes en los seis casos descritos en las tarjetas y las observaciones de la docente.

Agrupación	Observaciones de la docente
<p><b>Asociado a la electrocución</b> <sup>22</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● “ el efecto es electrocución”</li> <li>● “Corrientazos”</li> <li>● “Te pega un corrientazo”</li> </ul>	<p>Los estudiantes relacionan la gran mayoría de los efectos narrados en las tarjetas, con fenómenos causados por corrientes eléctricas fuertes haciendo alusión a corrientazos.</p>
<p><b>Transmisión de la electricidad (Materiales aislantes o conductores)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● “Los efectos son que los cables pasan corriente, ósea electricidad, así que la chispa salta al otro cable”</li> <li>● “Corriente por no usar material conductor”</li> <li>● “los efectos son que cuando el compañero le pasa ese metal, es conductor por eso el otro compañero se quedó paralizado por unos segundos”</li> <li>● “porque el metal es conductor y el que no tenía el traje se electrocuta.</li> </ul>	<p>En las descripciones, se hace alusión a la transmisión de la corriente generada por los peces a través del cuerpo de otros animales y por distintos materiales conductores y aislantes, ya sean biológicos o inertes.</p> <p>Se reconocen materiales como el metal, que puede ser buen conductor de la electricidad y otros como el hule, del traje de los buzos que evitan la transmisión de la corriente eléctrica.</p>
<p><b>Sensaciones y observaciones del choque producido.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● “Cuando te acercas a ese pez sientes un cosquilleo”</li> <li>● “la anguila lanzó electricidad y lanzó una chispa”</li> <li>● “Hay algo en el agua”</li> <li>● “Un golpe bastante fuerte y repentino”</li> </ul>	<p><b>Se percibe a distancia.</b> Se insinúa que los efectos eléctricos pueden causar daño a distancia o sin necesidad de tocar directamente al animal, sin embargo, este aspecto no es mencionado frecuentemente en las respuestas de los niños.</p> <p><b>El efecto causado por el animal es instantáneo:</b> La rapidez con la que estos animales generan efectos sobre otros es</p>

<sup>22</sup> Algunas palabras en las respuestas de los estudiantes tuvieron una corrección ortográfica para mejorar la comprensión de las oraciones, no obstante, la redacción original se mantuvo.

	mencionada solamente por un estudiante.
<p><b>Síntomas del choque eléctrico</b></p> <p><b>(Parálisis y/ o adormecimiento)</b></p> <p><b>Temblores y/o convulsiones)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● “Empiezan a tener convulsiones y a temblar”</li> <li>● “... con los ojos en blanco y moviendo el cuerpo de manera extraña”</li> <li>● “ el hombre convulsionó y el pez también empezó a retorcerse”</li> <li>● “...el ser vivo se queda totalmente quieto”</li> <li>● “ tiesedad”( Tieso)</li> <li>● “adormecimiento”</li> </ul>	Los efectos biológicos son consecuencia del choque del pez’

En la segunda sesión se aprecia que los estudiantes utilizan palabras como energía, corriente, corrientazo y electrocución no en su sentido estricto, sino como recurso para describir situaciones en las cuales identifican algunas actitudes, movimientos, sonidos y expresiones que pueden relacionar con aspectos de su experiencia de vida previa a esta actividad, asociadas principalmente a los electrodomésticos, programas de televisión y dispositivos electrónicos en casa, ya que en ninguna de las historias leídas se mencionan estos términos; sin embargo, no fue impedimento para identificar, por ejemplo en la historia de los buzos que al contacto con metales el choque de los peces se puede transmitir.

Recordando un poco los experimentos llevados a cabo por Walsh en 1773 donde éste realizó circuitos con Torpedos e identificó la polaridad de los peces, tocándolos en distintas posiciones con diferentes materiales como vidrios, ceras y cucharas, notando que estas últimas al estar hechas de metal transmitían el choque, mientras que el vidrio y las ceras bloqueaba los efectos de estos animales, deteniendo el paso de la corriente.

Por otra parte, los niños mencionan los posibles efectos a distancia que generan estos peces, cuando se encuentran en una misma zona y pueden atacar a otros organismos sin tocarlos, un propósito específico de las historias, que los estudiantes representaron en grupo, si bien los

niños aún no conocen mayores detalles del funcionamiento de los órganos eléctricos o la capacidad electro receptora de las anguilas y torpedos, esto constituye un acercamiento importante para caracterizar las corrientes eléctricas generadas por estos animales, ya que sitúa un evento eléctrico en entidades biológicas donde no hay pilas, enchufes o cables visibles.

Por último, esta actividad brinda la oportunidad de explorar otras habilidades en los estudiantes, tales como la interpretación, la toma de decisiones y el trabajo en equipo. Aunque puede resultar intimidante para algunos niños, les permite participar de manera colectiva en la identificación de una situación nueva para ellos, en este caso, los peces eléctricos. Durante esta experiencia, los estudiantes negocian entre sí y se comunican utilizando un vocabulario relacionado con fenómenos eléctricos, como 'corrientazo', lo que insinúa gradualmente que estos conceptos pueden estar vinculados a aspectos eléctricos.

### **Sesión 3. Sobreviviendo al ataque. ¿Qué se siente ser atacado por una anguila?**

**Table 10.** En esta tabla se sintetizan las impresiones observadas por la maestra sobre la experiencia de los estudiantes al ver el video e interactuar con el aparato de gimnasia pasiva.

<b>Video</b>	<b>Gimnasia pasiva</b>
El sonido de la anguila en el video se destaca como una característica representativa del choque eléctrico del animal, además, los saltos y gestos de dolor mostrados por el voluntario, afianzan la idea en los estudiantes de la electricidad, porque son similares a los gestos producidos por personas cuando se electrocutan con los electrodomésticos.	La actividad con el aparato de gimnasia proporciona una experiencia vívida del adormecimiento de las extremidades y la falta de control sobre las mismas. Los niños voluntarios mencionan el hormigueo ascendente en la mano y la dificultad para cerrar la palma o mover los dedos a voluntad cuando el aparato este encendido, tal como los cuentos de las primeras civilizaciones que describen dichos efectos como paralizantes, entumecedores, adormecedores y temporales.

Como se mencionó en el diseño de esta sesión, el objetivo principal era identificar las posibles conexiones que los niños pudieran establecer entre los efectos causados por los peces eléctricos y las sensaciones provocadas por el aparato de gimnasia pasiva. Actividades como la que se describió anteriormente resultan indiscutiblemente atractivas para los estudiantes, ya que les proporcionan una experiencia única en la que sus sentidos se ponen en juego,

ampliando la comprensión que han ido desarrollando acerca de los peces eléctricos y sus efectos.

Es importante destacar que, en el caso del video, los estudiantes asociaron más fácilmente los sonidos presentados en el material con la electricidad. En cuanto al aparato de gimnasia pasiva, aunque los niños no establecieron explícitamente una relación con los efectos provocados por los peces, expresaron sus propias sensaciones en lugar de relaciones concretas con los peces.

Por otro lado, el empleo de este dispositivo se convirtió en una fuente de experiencia segura para familiarizar a los niños con un fenómeno que resulta imposible de experimentar de forma natural en el entorno del aula. La presencia de una anguila sudamericana o un pez torpedo en el aula no es factible en el contexto de esta actividad, lo que hace que el uso del dispositivo sea invaluable para acercar a los estudiantes a un fenómeno que de otro modo sería inaccesible en su entorno educativo.

#### **Acerca del Encuentro Con el Pez Torpedo. Sesión 4.**

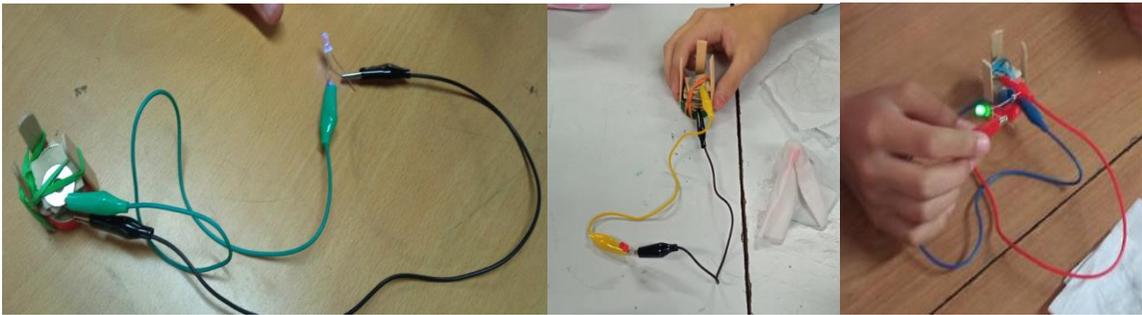
El modelo de pez torpedo llama la atención inmediata de los estudiantes y permite presentar un vistazo de los órganos eléctricos, así como de los nervios unidos a estos órganos, también trata de primera mano la experiencia de la polaridad del pez descrita por primera vez por Cavendish al posicionar las manos de los niños en el dorso y vientre del animal, así mismo, al presentar las partes internas del modelo estas llaman la atención, sin embargo, el modelo tiene una limitación a la hora de querer representar con mayor detalle las electro placas del pez, puesto que no se detallaron.

Por otro lado, se muestran los nervios que se irradian de la médula espinal del pez hacia los órganos del cuerpo del animal, a excepción de un estudiante, el resto de los niños confunde estos tejidos con venas, ya que hasta el momento no han abordado el sistema nervioso.

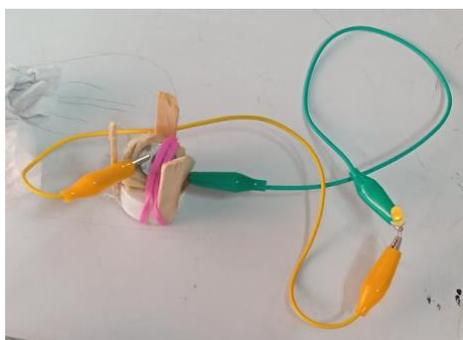
En esta sesión como lo plantea Godoy (2018), el uso del modelo permite la simplificación de un fenómeno más complejo como la generación de corrientes por medio de los órganos eléctricos, que posibilita a los estudiantes interactuar con él y reconocer características como la presencia de nervios, así como cuestiones, tales como ¿por qué hay que tocarlo simultáneamente en el dorso y en el vientre?

#### **Construcción de Los Órganos Eléctricos Artificiales.**

**Table 11.** Respuestas de los estudiantes durante y después de la construcción de las pilas de volta.

<b>Durante la construcción de la batería de Volta</b>	
<p><b>Grupo 1. Comentarios sobre el funcionamiento de la pila.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudiante 1. “Ush tiene mucha energía”,</li> <li>• Frente a la pregunta del docente ¿De dónde creen que viene esa energía?</li> <li>• Estudiante 2 “de los cartones, de los cositos”(refiriéndose al montaje)</li> <li>• Docente: ¿cómo funciona?</li> <li>• Estudiante 2 “no sé, por la moneda tal vez .../... por el material de la moneda y el material de la arandela”.</li> </ul> <p><b>Un grupo de trabajo se da cuenta que al tomarse de las manos y tocar las terminaciones de los cables de la batería, pueden encender el bombillo y apagarlo.</b></p> <p>A la pregunta de ¿Cómo cree que funciona? realizada por la docente. Estudiante 3 “nosotros tenemos electricidad y al tener tanta se conecta toda y llega a acá” (señalando el led)</p> <p>Otro estudiante comenta: estudiante 4 “ el cobre y el Zinc hace como una reacción y eso lo que hace es hacer energía, pero es que no sé para qué sirve el cartón”</p>	
	
<p><b>IMAGEN 33</b> Pilas de volta construidas por 3 grupos diferentes. En todas ellas el diodo led enciende.</p>	
<b>Después del montaje</b>	
<p><b>¿Qué parte del pez representan las monedas, el vinagre y los cables?</b></p>	<p>Referente al funcionamiento de todo el montaje: <i>Los órganos eléctricos, órganos de electricidad</i></p>
	<p>Relacionado con la función: Encender la pila, debajo de una cosa rosada. “Aser la reacción química que hazla energía” [hacer la reacción química que hace la energía] “Controlar la pila, controlar la electricidad y transportar la electricidad”</p>
	<p><b>Relacionado con el vinagre:</b> “electricidad cables transportar la energía del vinagre”</p>
	<p>Monedas: “Las monedas las electro placas del cable. // Las monedas son los cordones //monedas cordones”</p>

	Cables: <i>transportar la energía del vinagre</i> <i>Transportar la energía del vinagre o la pila,</i>
¿Qué papel tienen los cables en la pila de Volta?	<p><b>Referente al transporte y/o conducción de la electricidad:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• “Llevar la energía a los cordones”</li> <li>• “Transmitir corrientes eléctricas”</li> <li>• “traslado de electricidad”</li> <li>• “transportan la energía del vinagre”</li> <li>• “transportar la electricidad de la arandela y la moneda”</li> <li>• “transportan la energía del vinagre o la pila”</li> <li>• “conducir la energía”</li> <li>• “pasar la electricidad”</li> <li>• “llevar la energía”</li> </ul>
¿De qué están hechos los cordones y cómo funcionan? (Pez eléctrico)	<b>Referente a la electricidad:</b> da energía y transmiten.
	Referente a una unidad biológica: los cordones son su cerebro. Cobre caucho y neuronas
	<p><b>Referente a los materiales de la pila:</b> están hechas de caucho y en los lados tiene pinzas que enganchan a las cosas trasportar y controlar la electricidad [del] cerebro. Cobre y caucho El cosito de metal</p>
	<p><b>Referente a la función de los cordones nerviosos:</b> “Conducir la energía haciendo pequeñas descargas que juntas son enormes” (hacen pequeñas descargas, que al juntarse son enormes)</p> <p>Transportar y conducir la electricidad</p>



**IMAGEN 34** Pila de volta construida por los estudiantes: Por Gina Robayo.

Un elemento a resaltar de la construcción de la batería de Volta es la observación de los estudiantes sobre los efectos de la corriente eléctrica a través del receptor ( bombillo led), ya que, la luz es una manifestación de la corriente eléctrica fácil de reconocer para los niños, así mismo, resulta intrigante para los estudiantes que a través del uso de materiales que

normalmente no asocian con fenómenos eléctricos se produzca un flujo de corriente, especialmente con el vinagre y el cartón, puesto que, con la moneda y arandela mencionan que por sus materiales podrían estar generando algún tipo de *reacción*, sin embargo, con el líquido y el papel, su funcionamiento en la pila resulta desconcertante para las explicaciones que mencionan. *“el cobre y el Zinc hace como una reacción y eso lo que hace es hacer energía, pero es que no sé para qué sirve el cartón”* (estudiante).



**IMAGEN 35** Circuitos cerrados realizado por los estudiantes, utilizando las manos como conductores de la corriente.

Como resultado de la interacción con las pilas, algunos grupos notan que a través de sus cuerpos pueden fluir una corriente capaz de encender el bombillo led, lo que en cierta medida se asemeja a los experimentos realizados por Galvani y Walsh completando circuitos, juntando las manos y tocando un pez eléctrico o un muslo de rana percibiendo descargas o movimientos de los músculos, que en el caso de los niños se manifestó en el brillo de un bombillo, esta observación de los estudiantes es importante porque genera otras preguntas y los lleva a intentar darle sentido y explicación a un fenómeno que en primera instancia le atribuyen a la electricidad pero que a aún les resulta difícil de explicar.

Debido a que los estudiantes estaban muy entusiasmados en intentar nuevos montajes con las pilas, la última parte de esta sesión donde debían realizar tres dibujos comparando las pilas de volta con los órganos eléctricos no se desarrolló adecuadamente, por tanto, se retomó en la siguiente sesión.

**Table 12** En esta tabla se muestran algunos dibujos realizados por los estudiantes y se presentan las relaciones que escribieron los estudiantes entre los órganos eléctricos y las pilas de Volta.

Componentes de la pila de Volta y la columna de electro placas.

**Descripción:**

a) El estudiante escribe que las electro placas son las que hacen la electricidad, así como los cables y el vinagre.

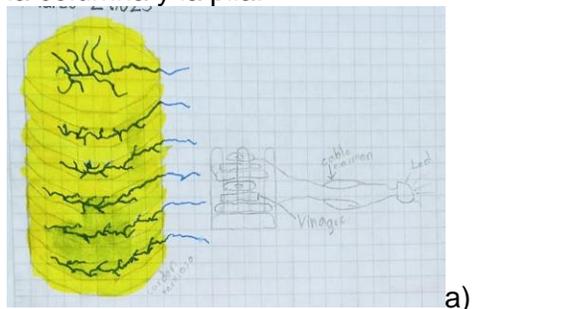
b) El estudiante escribe que las electro placas crean la electricidad, los cables caimán y el vinagre sirve para conectar la electricidad

c) La estudiante menciona los componentes de la columna de electro placas y hace una lista de los componentes de la pila.

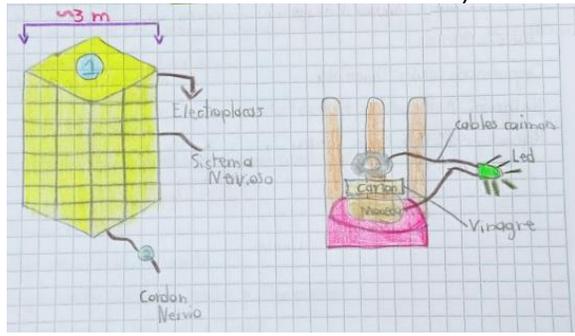
**Dibujo del estudiante:**

a. y b) se muestran dos figuras, una de la pila de volta y otro de la columna de electro placas donde se señalan los componentes de la pila y de la columna, sin embargo, no se relacionan en el dibujo.

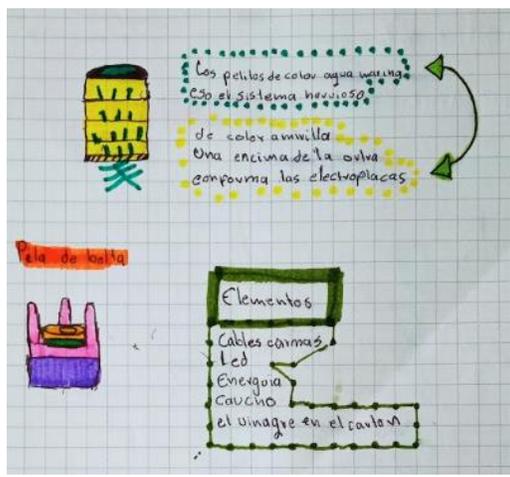
c) la imagen muestra dos dibujos separados de la columna y la pila.



a)



b)



c)

Relación ente el conjunto (moneda, arandela y cartón) con una electroplaca.

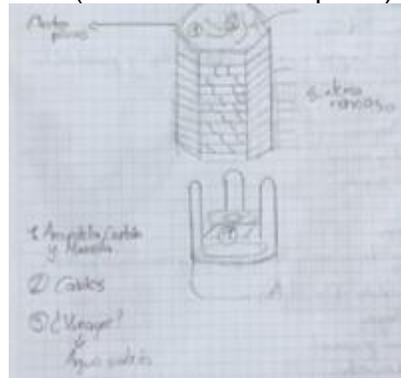
### Descripción:

a. El estudiante usa el número 1 para relacionar el conjunto moneda, cartón y arandela con una electroplaca.  
El número dos relaciona el cordón nervioso con el cable caimán.  
El tres, relaciona la humedad de la columna con el vinagre.

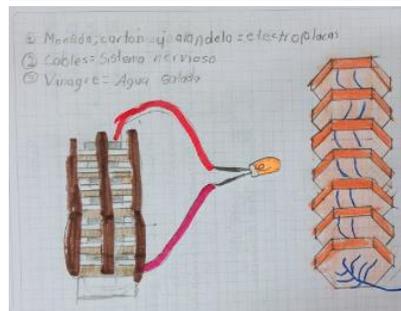
B y c) El estudiante indica que la moneda, el cartón y la arandela representa una electroplaca, los cables representan el sistema nervioso y el vinagre el agua salada.

### Dibujo del estudiante:

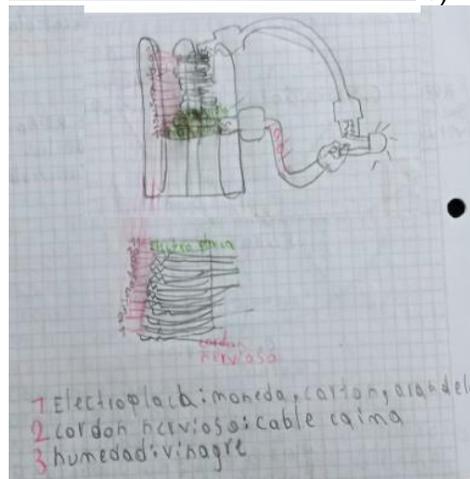
- a. El estudiante enumera la cantidad de monedas y las relaciona con los mismos números en la columna de electroplacas.  
b. Se muestran dos dibujos de la pila y la columna de electroplacas sin nombres o números para relacionar.  
c. Se muestran dos dibujos relacionados por medio de números, (1 cordón nervioso con cables), (2 conjunto moneda, arandela) y 3(cartón con electroplaca).



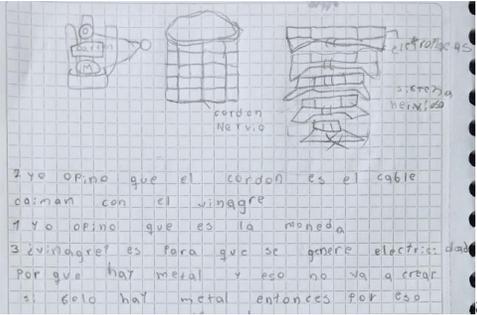
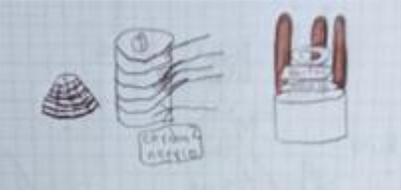
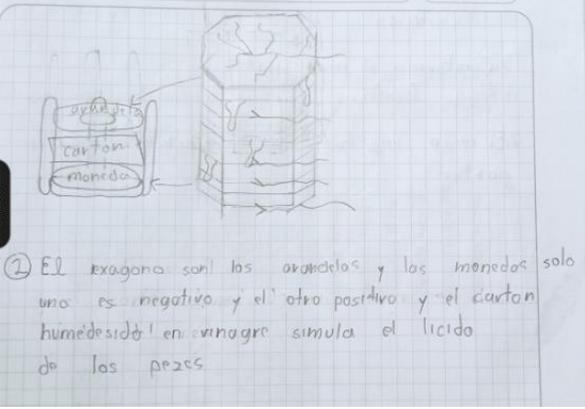
a)

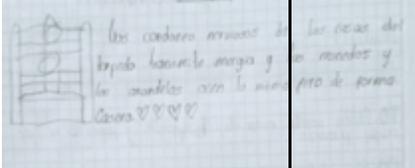


b)



c)

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">El vinagre se menciona como elemento importante del funcionamiento de la pila.</p>	<p><b>Descripción:</b></p> <p>a) El estudiante menciona que el cordón nervioso es el cable caimán con el vinagre, además indica que las electroplacas están representadas por las monedas en la pila de Volta, igualmente menciona que el vinagre es necesario para generar la electricidad.</p> <p>b) El estudiante relaciona la moneda con la electroplaca, el cable con la pinza caimán y el vinagre.</p>	<p><b>Dibujo del estudiante:</b></p> <p>a) El estudiante realiza tres dibujos, dos de electroplacas y uno de la pila, donde nombra las electroplacas, el cordón nervioso y los componentes de la pila (m de moneda y cartón).</p> <p>b) se ven tres dibujos, uno de la columna de electroplacas y los cordones nerviosos señalados y el otro de la pila con sus componentes.</p>  <p>a)</p>  <p>b)</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Relación con cargas positivas y negativas. Alusión a las condiciones internas del pez.</p>	<p><b>Descripción:</b></p> <p>Se menciona que el hexágono (electroplaca) está representado por las arandelas y monedas, una positiva y otra negativa y el cartón con vinagre simula la humedad del pez.</p>	<p><b>Dibujo del estudiante:</b> se muestran dos dibujos relacionados por flechas desde la columna de la electroplaca hasta la pila de volta.</p>  <p>1 El hexágono son las arandelas y las monedas solo uno es negativo y el otro positivo y el cartón húmedo en vinagre simula el líquido de los pezes</p>

<b>Analogía.</b>	<p><b>Descripción:</b> La estudiante indica que los cordones nerviosos de las electroplacas transmiten la energía, acción similar llevada a cabo por las monedas y arandelas de la pila que lo hacen de forma "casera"</p>	<p><b>Dibujo del estudiante:</b>el dibujo muestra la estructura de la electroplaca sin entrar en detalles.</p>	 <p>The drawing shows a vertical stack of rectangular plates. To the right of the plates, there is handwritten text in Spanish: 'los cordones nerviosos de los peces del tejido transmiten energía y las monedas y arandelas de la pila que lo hacen de forma casera'. There are also some small symbols or marks below the text.</p>
------------------	--	--	--

Retomando las respuestas de los niños sobre las representaciones de la pila, en su mayoría mencionan que *representan los órganos eléctricos*, esta similitud lo asocian por la forma de las columnas de electroplacas en los órganos eléctricos del pez mostrados en fotografías y la forma de la pila de Volta, lo anterior los lleva a presumir que las monedas representan esos discos en los órganos eléctricos de los cuales no conocen mucho de su naturaleza, solamente su forma. *"Las monedas (representan) las electroplacas del cable"* (estudiante). Ya lo mencionaba Alessandro Volta en su carta a Joseph Banks presentando su nuevo dispositivo llamado el *órgano eléctrico artificial* inspirado en los órganos eléctricos de la anguila sudamericana y el torpedo, donde dispuso discos de cobre y estaño interpuestos con otros discos húmedos tratando de imitar intencionalmente los discos apilados que se observaban en los peces eléctricos, además, que su aparato al igual que los peces podría mantener un flujo de corriente eléctrica solo con sustancias conductoras que para el momento se sabía que estaba presentes en los tejidos de estos peces. (Finger y Piccolino, 2011)

Por otro lado, los cordones nerviosos son asociados con los cables de la pila, una respuesta frecuente en los niños; señalando que estos llevan, transportan o transmiten la electricidad generada por las monedas. En relación a los peces con sus órganos eléctricos, se observa en las respuestas iniciales de los chicos una percepción de los cordones nerviosos relacionada con la conducción de esta descarga eléctrica, más que con la generación de una corriente eléctrica, en parte porque hasta el momento no se ha profundizado en los eventos que ocurren al interior de este tejido. Finalmente, dos estudiantes mencionan las neuronas a la hora de explicar de qué están hechos los cordones nerviosos, sin embargo, no entran en detalles.

En esta sesión se observan grandes avances en torno la asociación de fenómenos eléctricos con los tejidos del pez, el ejercicio de construcción de la pila resultó ser muy ilustrativo, además permitió que ellos empezarán a realizar conjeturas y a plantearse otras configuraciones de la

pila donde notaron por si solos la transmisión de esta corriente por sus manos, que los llevan a mencionar incluso que en sus cuerpos hay electricidad.

### **Sobre los Cordones Nerviosos. Sesión 5.**

La siguiente tabla presenta las respuestas de los estudiantes después de haber abordado los circuitos en serie y en paralelo con las pilas de volta. En las respuestas de los estudiantes, se mencionan los siguiente.

**Table 13** Aspectos extraídos de las respuestas de los estudiantes a tres preguntas sobre el funcionamiento de los peces eléctricos.<sup>23</sup>

<b>Pregunta</b>	<b>Aspectos seleccionados.</b>
<b>Al desconectar uno de los cables de la pila se apagan los bombillos ¿Qué crees que pueda ocurrir con el pez torpedo o la anguila si se corta uno de estos cordones nerviosos conectado a los órganos eléctricos?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deja de funcionar en secciones o completamente: la pila o el órgano.</li> <li>• Muere el animal.</li> <li>• No se afecta.</li> <li>• Genera menos electricidad.</li> <li>• Se detiene el flujo de energía.</li> <li>• Sigue funcionando por la organización de los órganos (paralelo).</li> </ul>
<b>¿Dónde son visiblemente más abundantes los cordones, hay alguna zona donde coinciden?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la médula y el centro del pez.</li> <li>• En los órganos eléctricos.</li> </ul>
<b>¿Estos cordones están conectados a otros lugares en el pez? ¿Qué función crees que desempeñan?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectados a todo el cuerpo y su función es conducir la energía</li> <li>• Funciones digestivas, latidos del corazón y respiración,</li> <li>• Sentir</li> <li>• Moverse y defenderse</li> <li>• Órganos vitales</li> <li>• Reflejos</li> <li>• Se conectan al cerebro para dar la orden de la descarga</li> <li>• Otras partes diferentes a los órganos eléctricos</li> <li>• Las neuronas se dirigen a todo el cuerpo y</li> </ul>

<sup>23</sup> Los aspectos consignados en las tablas obedecen a características escritas por los niños, no están transcritos textualmente en su totalidad para facilitar la comprensión y evitar la repetición de ideas.

	<p>sirven para avisarle al pez, cuando debe sacar energía y tener reflejos.</p>
<p><b>¿Conoces de otros animales que puedan tener estos cordones? ¿Los humanos tenemos estos cordones?</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las personas tienen cordones nerviosos</li> <li>• Todos los animales</li> <li>• “Todos tienen cordones para sentir sensaciones.</li> <li>• Cuando nos tocan, no generamos electricidad, solo si hacemos mucha fricción.</li> <li>• Las personas no tienen cordones nerviosos.</li> </ul>

En esta primera fase de la actividad, se puede apreciar en las respuestas de los niños que ellos reconocen la importancia de los nervios en el control de los órganos eléctricos y los choques que estos pueden generar. Esta relación es establecida a través de los montajes en serie y en paralelo, los niños incluso pueden extrapolar sus conjeturas a posibles funciones adicionales al observar imágenes de los nervios del pez. Presumen que los nervios desempeñan un papel en el control de diversas partes y funciones en los cuerpos de los peces y otros animales, dado que no todos los tejidos están conectados a los órganos eléctricos.

Es importante destacar que, al momento de llevar a cabo esta actividad, los estudiantes ya habían abordado aspectos del sistema nervioso en sus clases regulares. Por lo tanto, no es de extrañar, que en algunas respuestas se haga referencia a las neuronas; además, es interesante notar que dos estudiantes señalan que las personas no tienen estos tejidos.

En la segunda parte de esta sesión se presentaron imágenes de los nervios que recorren el cuerpo de una persona y un gato, haciendo énfasis en las partes del cuerpo en las cuales están ubicados y sus posibles funciones.

**Table 14** Características extraídas de las respuestas de los estudiantes a dos preguntas sobre el funcionamiento de los nervios en los animales.

<p><b>¿Cuál crees que es la función de estos cordones nerviosos?</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transportar la energía para hacer funcionar esa parte.</li> <li>• Controlar el flujo de electricidad</li> <li>• Controlar los órganos</li> <li>• Descargar la electricidad con el oponente</li> <li>• Conducir la electricidad</li> <li>• “Controlar las placas y los órganos eléctricos como si fueran cables que transmiten órdenes del cerebro”</li> </ul>
<p><b>¿Qué función realizan</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enviar ordenes sobre el movimiento.</li> <li>• Sentir dolor y otras sensaciones.</li> </ul>

<b>los nervios en el gato y el humano si no tienen órganos eléctricos como el pez?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantener el cuerpo, sentimos cuando nos tocas</li> <li>• Transmitir señales al cerebro y recibir dolor.</li> <li>• Dar órdenes a los órganos normales (los que no son eléctricos)</li> <li>• Controlar los órganos de las personas</li> <li>• Pensar controlar el peso, la inteligencia</li> </ul>
--	---

En esta segunda parte, se hace aún más evidente el vínculo que los niños establecen entre los cordones nerviosos y la transmisión de corriente eléctrica. En las respuestas de los estudiantes a la primera pregunta, es prácticamente unánime el uso de palabras como 'conducir', 'transportar' y 'transmitir corriente' para referirse a la corriente que se propaga a través de los cordones nerviosos y que regula el funcionamiento de los órganos eléctricos, así como de otras funciones en personas y animales, como los movimientos, los sentidos y las respuestas a estímulos, entre otros.

Este punto es relevante porque se sitúa la transmisión de una corriente a través de los tejidos nerviosos de un animal incluido el humano, que desde la perspectiva histórica recuerdan a Galvani y la electricidad animal, además, porque los niños ven los nervios como un mecanismo de conducción y no de generación de corrientes, así como Galvani, quien situaba la generación de esta electricidad en los músculos y no en los nervios.

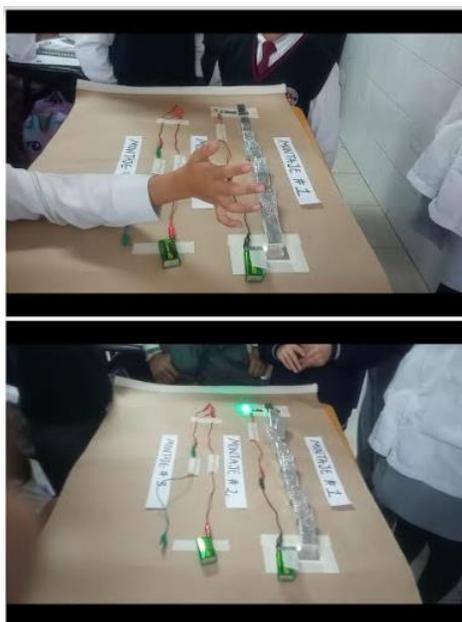
En este punto, es importante destacar que la planificación de las sesiones, desde la perspectiva de esta autora, permite que los estudiantes, de manera gradual, comiencen a considerar la presencia de corrientes eléctricas en los tejidos de los animales, sin necesidad de adentrarse en las particularidades anatómicas de los nervios o en los procesos fisicoquímicos que ocurren en estos tejidos. Además, es relevante destacar el uso de la batería de Volta y su comparación con los órganos eléctricos, ya que proporciona una experiencia de observación directa en la cual son los propios niños quienes comienzan a formular conjeturas a través de la manipulación del objeto. Esto facilita la comprensión de un fenómeno abstracto como el flujo de corriente en un tejido, sobre el cual los estudiantes carecen de referencia previa.

## **Sesión 6. Más Que Cables**

**Table 15** En la siguiente tabla se recogen algunos comentarios de los estudiantes sobre la siguiente pregunta; ¿Los nervios funcionan igual que los cables?

<p><b>¿Los nervios funcionan igual que los cables?</b></p>	<p><i>“No, porque los cables transportan todo de una y los nervios solo de uno en uno”</i></p> <p><i>“Los nervios primero deben tener un estímulo para funcionar y pasar la información como en el montaje 1 o el 3 , los nervios pasan de un lado a otro pero se demoran un poquito”</i></p> <p><i>“Si funcionan igual que los cables porque si se desconecta uno, se desconcentran los demás, si una ficha de jenga cae mal, no funciona el resto y también pasa con la fluidez del montaje del agua”</i></p> <p><i>“Si porque transportan energía y señales del cuerpo”</i></p> <p><i>“El mejor ejemplo de los nervios fue el montaje 1 debido a que necesita un empujoncito que se llama estímulo, no tiene que ser muy débil, ni muy fuerte.”</i></p> <p><i>“Se demora más en pasar la corriente por lo nervios que por los cables”</i></p> <p><i>“Un nervio no funciona, los demás no pueden funcionar “</i></p> <p><i>“Tiene que pasar por varios sitios, un estímulo o si no, no funciona, tienen que ser suficientemente fuerte, se demora tiempo.”</i></p> <p><i>“No son inmediatos, si un nervio se desconecta todo se desconecta”</i></p> <p><i>“Se necesita la fuerza correcta”</i></p> <p><i>“Funciona por una reacción en cadena, como en el tres cuando caen las gotas o en el 1 con el dominó de jenga forrado en papel aluminio.”</i></p>
--	---

Al revisar las respuestas de los estudiantes, destacan varios aspectos de interés, en su mayoría, los niños reconocen que los cables y los nervios no funcionan de la misma manera. Entre las diferencias que mencionan, uno de los aspectos destacados es la velocidad de transmisión, aunque consideran que la velocidad en los montajes sigue siendo rápida, observaron una diferencia evidente en los modelos 1 y 3 (que representan a los nervios), donde la señal tardó más en llegar. Esto se debió a la necesidad de esperar la reacción en cadena de las fichas de jenga o el llenado del líquido en la copa.



**IMAGEN 36** Superior: montaje uno accionado por un estudiante. Inferior: montaje uno cerrado después de la reacción en cadena.

Esta sesión se basó en las mediciones de Helmholtz sobre la velocidad de transmisión de las señales eléctricas, donde se identificó que esta velocidad no es tan rápida como la de la luz y se aproxima a unos 30 metros por segundo. Aunque no se realizaron mediciones de velocidad ni distancias con los niños, el modelo utilizado les permitió observar de manera general las diferencias significativas entre los dos tipos de montajes, lo que los llevó a extrapolar estos resultados a los nervios, como se menciona en algunas respuestas *'la corriente se demora más en pasar por los nervios que por los cables'*.

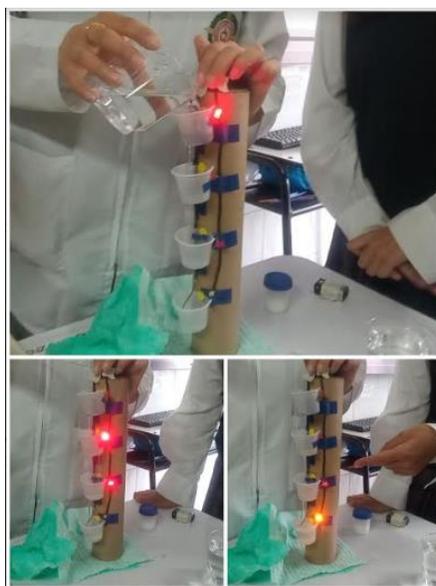
Por otro lado, dos parejas de estudiantes no encontraron diferencias entre los tejidos y los cables, pero señalaron que ambos permiten la transmisión de una señal eléctrica, lo cual concuerda con lo que se discutió en la sesión anterior.

Ahora bien, las razones que dan los niños para dar cuenta de esta demora se relacionan con la presencia de un líquido y una reacción en cadena sin la cual el nervio no funcionaría. Es importante señalar que no se consideró pertinente mencionar aspectos como la membrana plasmática, el potencial de reposo o de acción, ya que atiende a otros fenómenos abstractos de los cuales los niños no tienen un referente establecido, lo que agregaría más interrogantes a la discusión.

Durante la demostración con las fichas de Jenga, la docente hizo hincapié en la importancia del 'empujoncito' necesario para activar la reacción y cerrar el circuito. Tras varios intentos de

soplar y tocar la primera ficha, esta finalmente cayó en el lugar correcto, lo que permitió que el bombillo se encendiera. Fue en este momento cuando la maestra introdujo el término 'estímulo' para destacar que los nervios también requieren un estímulo preciso para funcionar adecuadamente. Si el estímulo es demasiado débil, el bombillo no se encenderá y, por lo tanto, el nervio no transmitirá ninguna señal.

En cuanto a la sustancia utilizada en el montaje 3, los estudiantes logran identificar que el modelo no funciona con agua común, sino que solo cuando se integra sal, los bombillos pueden encenderse. Este modelo tiene como objetivo dirigir la atención hacia la presencia de sustancias en los tejidos, como la sal, aunque las razones detrás de su presencia no se exploran en esta actividad.



**IMAGEN 37** Se muestra como a medida que el líquido llena cada copa y cae en la siguiente se enciende el bombillo.

La tarea de concebir un montaje que pudiese emular, aunque de forma simplificada, la complejidad de la transmisión de señales a través de los nervios fue desafiante, ya que no era viable llevar material biológico para realizar experimentos y estimularlo de la misma manera que lo hicieron en su momento investigadores como Galvani o Matteucci, cuyas experiencias resultaron fascinantes; entonces había que pensar en un modelo donde se pudieran explorar esas características relevantes para dar cuenta del fenómeno como un evento eléctrico distinto a los cables, más complejo pero comprensible para los niños. Construir el montaje 3, puso en juego las reflexiones y transformaciones personales sobre el impulso logradas a partir de la indagación histórico-crítica y la experimentación, en términos de seleccionar los objetivos del

modelo, las limitaciones del mismo, los materiales entre otros, de manera que pudiera ser llevado al ámbito escolar y así generar en los estudiantes una experiencia sobre la velocidad de transmisión que pudiera o no ayudarlos a construir una explicación sobre el fenómeno.

### Sesión Final

En esta sesión se abordaron aspectos sobre la generación de la corriente a través de sustancias como el agua salada, donde se les pidió a los estudiantes que indicaran las condiciones para que se produzca esa señal eléctrica, al final de la experiencia se consolidaron los aportes de los niños.

**Table 16** Características encontradas en las respuestas de los estudiantes a las 2 preguntas propuestas.

<p>¿Qué condiciones son necesarias para que se dé el impulso nervioso?</p> <p>Nota: estas condiciones fueron construidas en conjunto por los estudiantes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que ingresen sustancias conductoras</li> <li>• Los nervios tengas huequitos para que ingresen sustancias conductoras</li> <li>• Se demora un poquito (la corriente)</li> <li>• El impulso se empuja una vez y sigue.</li> <li>• Un estímulo externo o interno</li> </ul>
<p>Comentarios de los estudiantes sobre cómo se genera el impulso nervioso.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• “La corriente que el nervio se crea por la sal que tenemos en el cuerpo. Por medio de los nervios ya que manda señales o instrucciones”</li> <li>• “Cuando entra y salen del nervio se va generando la corriente eléctrica”</li> <li>• “Los nervios necesitan sal para funcionar, lo cual forma la corriente eléctrica.”</li> <li>• “Cuando entran y salen del nervio se van generando corrientes por la energía sintética”</li> <li>• “Un cordón nervioso crea ciertas sustancias conductoras que llegan al cerebro y cerebro tiene la conciencia de un todo.”</li> <li>• “Cuando comemos sal, los nervios lo transmiten al cerebro”.</li> <li>• “En los humanos si tocas la espalda o la mano o la barriga, sentirás corriente y la otra persona también, en los animales por ejemplo el pez eléctrico tiene mucho voltaje y si lo tocas sentirás una corriente muy fuerte.”</li> </ul>

La experiencia con el modelo de nervio permitió trabajar varios aspectos de la generación de esa corriente, por ejemplo el uso de sustancias saladas, ya que por medio del montaje cuando se sumergieron los cables sobre el agua destilada esta no encendió el bombillo, como si lo hizo cuando el agua salada del vaso plástico ingresó a la copa por medio de las aberturas, acá los estudiantes reconocen que el ingreso de estas sustancias son necesarias para que la corriente se genere, estas apreciaciones corresponden a un intento por abordar aspectos químicos de la transmisión de la corriente sin introducir o usar términos como iones de sodio y de potasio, aberturas de canales, membrana plasmática, potencial de acción, ya que se considera que mencionarlos, solamente generaría el mismo efecto que se quiere evitar con el impulso, la repetición de términos sin contexto o significado real para los estudiantes.



**IMAGEN 38 Superior:** los bombillos no encienden por estar sumergidos únicamente en agua salada. **Inferior:** los bombillos encienden debido al ingreso de agua salada por medio de los agujeros de la copa.

Esta sesión se inspira en las observaciones de Overton, al experimentar con sustancias dulces y saladas, notando que cuando utilizaba soluciones con sodio el impulso se registraba en sus instrumentos, mientras que, si utilizaba sustancias como el agua dulce, el impulso no se generaba. Por otro lado, estas aberturas fueron una forma de dar a entender que los nervios no están completamente aislados, sino que tienen lugares por donde ingresan y salen sustancias, haciendo alusión a la membrana plasmática sin mencionar el término o entrar en detalles sobre sus estructuras.

Del mismo modo, con esta experiencia se refuerzan términos como la velocidad, ya que el bombillo tardó varios segundos en encenderse y a medida que pasaba el tiempo este fue adquiriendo mayor intensidad; haciendo alusión a que el impulso no se transmite de la misma

manera que una corriente a través de un cable.

Por los comentarios de algunos estudiantes, persisten las ideas de los nervios como conductores del impulso y no como generadores y transmisores del fenómeno, aquí sería pertinente, plantear otras experiencias para profundizar sobre la generación de corrientes a través de sustancias conductoras y posiblemente sobre la idea de neurona y membrana plasmática, para que los niños puedan desarrollar una experiencia más comprensible.

Al finalizar la sesión, la docente utilizó el término impulso nervioso, para mencionar que la corriente de la cual se ha venido trabajando se llama así.

### **REFLEXIONES SOBRE LA INTERVENCIÓN EN EL AULA.**

Mediante esta intervención, los estudiantes tienen la oportunidad de adquirir experiencias relacionadas con un fenómeno previamente desconocido, lo que les permite abordar gradualmente ciertas características del impulso nervioso. Aunque la intención inicial de esta intervención no era que los estudiantes llegaran a una comprensión técnica del impulso nervioso, se han logrado notables avances. Los estudiantes han comenzado a reconocer los eventos eléctricos que ocurren en estos tejidos, a comprender las funciones que desempeñan los nervios, a apreciar la organización de estos tejidos y a identificar la presencia de sustancias que tradicionalmente no asociaban con sus propios cuerpos. Estos conocimientos pueden evolucionar, transformarse y enriquecerse en el futuro

Los modelos construidos desempeñaron un papel fundamental al simplificar las estructuras y los procesos complejos presentes en estos tejidos. Además, constituyeron un ejercicio continuo de interpretación y comprensión del fenómeno por parte de la autora, quien buscaba comprender las características que los modelos podrían representar, así como sus limitaciones. En este sentido, se puede afirmar que estos modelos reflejan la construcción del fenómeno por parte de la autora.

El uso de eventos históricos como punto de partida para la creación de cuentos e historias cortas se presenta como una herramienta trascendente, que no solo captar la atención, sino que, en su lugar posiciona la discusión sobre aspectos fundamentales relacionados con la comprensión de los eventos eléctricos en los animales.

Actividades como la interpretación, la manipulación de objetos y la experimentación otorgan a los estudiantes un papel más activo, ya que, a través de sus observaciones y participación en estas actividades, adquieren nuevas experiencias que les permiten expandir sus conocimientos, cuestionar conceptos existentes y construir colectivamente una comprensión más completa en torno a un fenómeno

El uso de los peces eléctricos y el estudio detallado de sus órganos y estructuras proporcionaron un contexto para la exploración, construcción y debate en torno a este fenómeno. Es importante destacar que, aunque estos animales no forman parte de la vida cotidiana de los estudiantes, su estudio en el aula ofrece una valiosa oportunidad para la comprensión y el análisis de este tema.

### **REFLEXIONES SOBRE EL IMPULSO NERVIOSO DESDE LA PERSPECTIVA DE LA AUTORA.**

Centrar la mirada en los eventos eléctricos del impulso nervioso, surgió como resultado de una transformación constante de la comprensión de este fenómeno. Esta transformación fue principalmente impulsada por la investigación histórica, pero se enriqueció aún más mediante la experimentación y la intervención en el aula. En esta nueva perspectiva del fenómeno, se incorpora la noción de la 'electricidad animal', que implica la presencia de corrientes eléctricas en animales que pueden ser registradas mediante instrumentos. Esto no significa que las definiciones actuales no contemplen este aspecto, sino que ahora adquieren un significado más profundo a medida que se comprende y se demuestra cómo se registran estos eventos. Además, resultó particularmente interesante descubrir que es posible hablar de 'corriente de demarcación' y 'potencial de acción' desde la estructura macroscópica del nervio en lugar de la neurona, ya que, desde la perspectiva de esta autora, hablar de la neurona requeriría una abstracción más profunda de las estructuras implicadas.

Comprender el potencial de acción, más allá del simple flujo de corriente a través de un tejido, o el paso de una corriente por un cable, lleva a considerar otras características del fenómeno; no se trata solamente de la propagación de una señal producto de un estímulo, o el registro de una curva sobre un papel, sino de un conjunto de condiciones, estímulos y estructuras que en grupo caracterizan el impulso.

Asimismo, la revisión de los descubrimientos de personajes históricos como Matteucci, Raymond, Bernstein y Overton, abre una ventana hacia aspectos relacionados con la velocidad,

la transmisión y la propagación de este fenómeno, más allá del mero registro de datos superficiales, porque constituyó en un ejercicio riguroso de lectura y comparación con diversas fuentes con el propósito de entender las preguntas, preocupaciones y conclusiones planteadas por estos personajes.

Podría señalarse que no se exploraron por completo todas las características eléctricas del impulso nervioso, ya que aspectos como la generación de corrientes a través del flujo de iones desde el interior y el exterior de la neurona, o el funcionamiento de bombas de sodio y potasio, no fueron trabajados. No obstante, esto no impidió que se caracterizaran otros aspectos esenciales, como la presencia de corrientes, el potencial de reposo, la transmisión de la señal, la velocidad de propagación y la presencia de sustancias como el sodio, que igualmente proporcionan valiosas características para comprender los eventos eléctricos involucrados en el fenómeno.

Por último, pero no menos importante, los peces eléctricos constituyeron un elemento fundamental para dar cuenta del impulso, desde la perspectiva histórica, situaron los fenómenos eléctricos en los animales, desde el aspecto experimental, con los estudios anatómicos y los montajes realizados con los músculos y tejidos de estos animales y desde la perspectiva ilustrativa y didáctica durante la intervención en el aula, que resignificaron enormemente lo que esta autora construyó sobre el impulso.

## **CONCLUSIONES.**

Al finalizar este trabajo se identificaron algunos aspectos de orden histórico relevantes para dar cuenta del impulso nervioso, como el estudio de los efectos de los peces eléctricos, fundamentales para desarrollar la idea de la electricidad animal, los registros de estas corrientes eléctricas, la identificación de potenciales de reposo y de acción y la presencia de sustancias generadoras de estas corrientes, como elementos base para caracterizar eléctricamente este fenómeno.

Entre las contribuciones de este trabajo se destacan varios aspectos, el primero indiscutiblemente parte de hacer del impulso nervioso un fenómeno de interés, a través del estudio de los efectos de los peces eléctricos, un camino que, aunque se detiene a abordar aspectos de orden disciplinar, también, toma elementos de orden histórico y epistemológicos

para ampliar y transformar el fenómeno.

En segundo lugar, la intervención en el aula brinda a los estudiantes la oportunidad de explorar un fenómeno desconocido, permitiéndoles gradualmente comprender aspectos del impulso. Aunque la intención inicial no era lograr una comprensión disciplinar del fenómeno, los estudiantes han avanzado significativamente en la comprensión y descripciones de eventos relacionados con el impulso. Estas experiencias tienen potencial para desarrollarse y enriquecerse en el futuro.

Un aspecto relevante tiene que ver con la implementación de la intervención con estudiantes de primaria, ya que usualmente las características trabajadas como potencial eléctrico, potencial de reposo y velocidad se abordan en grados superiores, sin embargo, en los escritos y comentarios de los niños mencionan aspectos sobre las generación de corrientes eléctricas a través de sustancias como la sal o de la interacción entre metales distintos, además, hacen alusión al control y regulación de los nervios sobre otros órganos diferentes a los eléctricos, describen algunas características sobre la velocidad del impulso y la transmisión de esta corriente que son acercamientos importantes para que puedan dar cuenta de otros conceptos más adelante.

Por otra parte, el desarrollo de este trabajo contribuyó a una construcción distinta del impulso nervioso por parte de la autora, ya que, los conceptos manejados allí, cobran otro significado y tejen nuevas redes en términos de los hallazgos, las preocupaciones y los intereses que contribuyeron a consolidar otras experiencias intencionadas en torno al fenómeno. Estas experiencias involucraron la lectura de textos primarios sobre los peces eléctricos, el impulso y la instrumentación creada a lo largo de la historia, además, se consideró la selección de criterios para la reconstrucción de la experiencia sobre el impulso, el uso del lenguaje consciente e intencionado para dar cuenta del mismo y el desarrollo de experiencias prácticas en la intervención del aula para comprender algunas características del impulso.

Es pertinente resaltar que este trabajo puede tomarse como base para desarrollar nuevos entramados sobre el impulso que apunten a desarrollar aspectos disciplinares más amplios que involucren por ejemplo las neuronas, la membrana plasmática y los eventos electroquímicos que allí ocurren.

Finalmente, este trabajo brinda la oportunidad de fomentar una reflexión continua sobre el conocimiento y la práctica de la maestra, así como sobre sus experiencias y las actividades que

realiza. Solamente cuando se cuestiona por el propio hacer y el hacer de los estudiantes se hace posible proponer alternativas para la enseñanza, no solo para abordar el impulso nervioso sino sobre cualquier otro fenómeno de interés que le permita al docente asumir su práctica desde una perspectiva crítica y transformadora de su entorno.

### BIBLIOGRAFÍA.

Academia Lab. (2023). Tarro de Leyden. Enciclopedia. Revisado el 25 de noviembre del 2023.

<https://academia-lab.com/enciclopedia/tarro-de-leyden/>

Aragón, L., Jiménez, N., Oliva, J., y Aragón, M. (2018). *La modelización en la enseñanza de las ciencias: criterios de demarcación y estudio de caso*. Revista Científica, 32(2), 193-206

<https://doi.org/10.14483/23448350.12972>

Arcá, M., Guidoni, P. & Mazzoli, P. (1990). *Enseñar ciencia. Como empezar: reflexiones para una educación científica de base*. Barcelona: Paidós.

Ayala, M. (2006). *Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades*. Pro-Posições, v17, n. 1 (49) - Jan./abr. 2006.

<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/proposic/article/view/8643653/11170>

Bernechea, M., Gonzales, E., Morgan, M. (2010). *La sistematización de experiencias: producción de conocimientos desde y para la práctica*. Tend. Retos N.º 15: 97-107 / octubre 2010. <https://ts.ucr.ac.cr/binarios/revistas/co/rev-co-tendencias-0015-07.pdf>

Bernstein, J. (1868). 'Ueber den zeitlichen Verlauf der negativen Schwankung des Nervenstroms'. *Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere*, 1.

[https://echo.mpiwg-](https://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/ECHOdocuView?url=/permanent/vlp/lit9009/index.meta&pn=1)

[berlin.mpg.de/ECHOdocuView?url=/permanent/vlp/lit9009/index.meta&pn=1](https://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/ECHOdocuView?url=/permanent/vlp/lit9009/index.meta&pn=1)

Candela A., (1993). *La construcción discursiva de la ciencia en el aula. Investigación en la escuela*.(21).p.31-38. <https://revistascientificas.us.es/index.php/IE/article/view/8525/7590>

- Cavendish, H. (1776). *An Account of one Attempts to imitate the EmphaSis of the Torpedo by Electricity. By the Hon. Henry Cavendish. Proceedings of the Royal Society of London, Philosophical Transactions of the Royal Society.* Publisher Royal Society of London.  
<https://archive.org/details/philtrans03015227/page/n1/mode/2up?view=theater>
- Du Bois-Reymond, E. y Bence Jones, H. (1852). *On animal electricity: being an abstract of the discoveries of Emil du Bois-Reymond.* London: Churchill.  
<https://wellcomecollection.org/works/nxy5rczk>
- Duque, J; Barco, J & Duque, V. (2014). Visión Histórica de la Estructura y Función del Nervio: La Visión Pre-Galénica y Galénica. *International Journal of Morphology*, 32(3), 987-990.  
[https://dx.doi.org/10.4067/S0717\\_95022014000300039](https://dx.doi.org/10.4067/S0717_95022014000300039)
- Encyclopædia Britannica. (2023). Electric eel (Electrophorus electricus) Image.  
<https://www.britannica.com/animal/Electrophorus-fish-genus#/media/1/2027423/244321>
- Espitia Beltrán, A. (2018). *Electroplacas y peces eléctricos.* *Ingeciencia*, 2(2), 76–82.  
[https://editorial.ucentral.edu.co/ojs\\_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/2686](https://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/2686)
- Farfán, F. (2023). *Propuesta de unidad didáctica como estrategia de enseñanza del potencial eléctrico de la membrana de la neurona para estudiantes de neuropsicología.* [Tesis]  
<http://hdl.handle.net/20.500.12209/18814>
- Finger, S; Piccolino, M (2011). *The Shocking History of Electric Fishes from Ancient Epochs to the Birth of Modern Neurophysiology.* Oxford University Press.
- Flick, U. (2015). *El diseño de Investigación Cualitativa.* Ediciones Morata.  
[https://edmorata.es/wp-content/uploads/2020/06/Flick.Disen%CC%83oInvestigacionCualitativa.PR\\_.pdf](https://edmorata.es/wp-content/uploads/2020/06/Flick.Disen%CC%83oInvestigacionCualitativa.PR_.pdf)
- Galvani, L. (1791). *Aloysii Galvani De viribus electricitatis in motu musculari commentarius.* Bononiae: Ex Typographia Instituti Scientiarum.  
<https://doi.org/10.5479/sil.324681.39088000932442>
- Garay, R. (2011). *Perspectivas de historia y contexto cultural en la enseñanza de las ciencias: discusiones para los procesos de enseñanza y aprendizaje.* *Ciência & Educação*

(Bauru), vol. 17, núm. 1, 2011, pp. 51-62.  
<https://www.redalyc.org/pdf/2510/251019455004.pdf>

General Zoology / The Diversity of Animal Life. (sf) Image. Electric ray Torpedo with electric organs exposed fig 26-13.  
[https://biocyclopedia.com/index/general\\_zoology/class\\_chondrichthyes\\_cartilaginous\\_fishes.php](https://biocyclopedia.com/index/general_zoology/class_chondrichthyes_cartilaginous_fishes.php)

Godoy, O. (2018). *Modelos y Modelización en ciencias una alternativa didáctica para los profesores para la enseñanza de las ciencias en el aula*.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12209/15936>.

González, A. M. (2016). *El impulso nervioso como problema de conocimiento*. [Tesis]  
<http://hdl.handle.net/20.500.12209/335>.

Gotter, A. L., Kaetzel, M. A., & Dedman, J. R. (2012). *Electrocytes of Electric Fish*. En B. E. Pollard (Ed.), *Fish Physiology: Muscle Development and Growth* (Capítulo 48, 1025-1038)  
[https://www.researchgate.net/publication/287258832\\_Electrocytes\\_of\\_Electric\\_Fish](https://www.researchgate.net/publication/287258832_Electrocytes_of_Electric_Fish)

Hauksbee, F. (1709). *Physico-mechanical experiments on various subjects, containing an account of several surprizing phaenomena touching light and electricity. Producibile on the attrition of bodies. With many other remarkable appearances, not before observed. Together with the explanations of all the machines, (the figures of which are curiously engraved on copper) and other apparatus used in making the experiments*.  
<https://archive.org/details/b30512839/page/n3/mode/2up?q=plate+VII>

Helmholtz, H. (1850). *Vorläufiger Bericht über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung / von Dr Helmholtz*. <https://wellcomecollection.org/works/nm26r2xz>

Hunter, J. (1773). XL. *Anatomical observations on the torpedo*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* Volume 63, Issue 63.  
<https://royalsocietypublishing.org/doi/epdf/10.1098/rstl.1773.0040>

Jara, O. (2018). *La sistematización de experiencias: práctica y teoría para otros mundos políticos – 1ed*. Bogotá: Centro Internacional de Educación y Desarrollo Humano –

CINDE. <https://repository.cinde.org.co/bitstream/handle/20.500.11907/2121/Libro%20sistemizacion%CC%81n%20Cinde-Web.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ley de Ohm (s.f.). Ley de Ohm resistencia eléctrica. [https://iesmjuncalero.educarex.es/archivos\\_insti/recurdptos/tecnolog/electrotenia/t2.htm#0](https://iesmjuncalero.educarex.es/archivos_insti/recurdptos/tecnolog/electrotenia/t2.htm#0)

Litman, M. (2022). *Astatic needles*. Joseph Henry Project. <https://commons.princeton.edu/josephhenry/astatic-needles/>

Malagón, J. F., et al. (2013). *Construcción de fenomenologías y procesos de formalización: un sentido para la enseñanza de las ciencias*. <http://hdl.handle.net/20.500.12209/3459>

Matteucci, C. (1844). *Traité des phénomènes électro-physiologiques des animaux suivi d'études anatomiques sur le système nerveux et sur l'organe électrique de la torpille par Paul Savi*. Paris: Fortin, Masson. <https://wellcomecollection.org/works/j33aygms>

Matteucci, C. (1847) *Lectures on the physical phenomena of living beings / by Carlo Matteucci : translated under the superintendence of Jonathan Pereira*. <https://wellcomecollection.org/works/egrqegvz/items?canvas=308>

Mejía, M (2010) *ATRAVESANDO EL ESPEJO DE NUESTRAS PRÁCTICAS. A propósito del saber que se produce y como se produce en la sistematización (Texto en construcción y para la co-autoría)* Planeta Paz. Expedición Pedagógica Nacional. [https://cepalforja.org/sistem/sistem\\_old/espejo\\_practicas.pdf](https://cepalforja.org/sistem/sistem_old/espejo_practicas.pdf)

Miguélez, F., Liaño, R., López, R. (2001). *Sobre peces eléctricos y algunos avances científicos*. Notas Históricas. Revista Española de Física 15 (4). <https://www.scribd.com/document/358972282/PECES-ELECTRICOS-Y-AVANCES-CIENTIFICOS-pdf>

Nelson, M. E. (2011). *Electric fish*. *Current Biology*, 21(14), PR528-R529. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.03.045>

Orozco, J., Valencia, S., Méndez, O., Jiménez, G. y Garzón., José P. (2003). *LOS PROBLEMAS DE CONOCIMIENTO UNA PERSPECTIVA COMPLEJA PARA LA*

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS. Tecné, Episteme y Didaxis: TED, (14).  
<https://doi.org/10.17227/ted.num14-5574>

Overton, E (1902). Beiträge zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysiologie, II. Mittheilung: Ueber die Unentbehrlichkeit von Natrium- (oder Lithium-) Ionen für den Contractionsact des Muskels . Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Tiere, 92, 346–386. [https://ia600708.us.archive.org/view\\_archive.php?archive=/22/items/crossref-pre-1909-scholarly-works/10.1007%252Fbf01653672.zip&file=10.1007%252Fbf01659816.pdf](https://ia600708.us.archive.org/view_archive.php?archive=/22/items/crossref-pre-1909-scholarly-works/10.1007%252Fbf01653672.zip&file=10.1007%252Fbf01659816.pdf)

Piccolino, M. (1998) *Animal Electricity and the birth of electrophysiology: The legacy of Luigi Galvani*. Brain Research Bulletin, Vol. 46, No. 5, pp. 381–407, 1998.  
[https://www.academia.edu/27687751/Animal\\_electricity\\_and\\_the\\_birth\\_of\\_electrophysiology\\_the\\_legacy\\_of\\_Luigi\\_Galvani](https://www.academia.edu/27687751/Animal_electricity_and_the_birth_of_electrophysiology_the_legacy_of_Luigi_Galvani)

Poveda, G. (2003). *La electricidad antes de Faraday*. Medellín: Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. <https://www.redalyc.org/pdf/430/43003013.pdf>

Quinche, S. (2015). *Enseñanza de la transmisión del impulso nervioso desde el contexto de la física, la química y la biología, en octavo grado*. [Tesis]  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56070/sandrajannethquinchebeltran.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sampieri, H. (2006). *Diseños del proceso de investigación cualitativa, metodología de la investigación cualitativa*. Mexico Mcgraw Hill.  
<https://administracionpublicauba.files.wordpress.com/2016/03/hernc3a1ndez-samipieri-cap-15-disec3b1os-del-proceso-de-investigac3b3n-cualitativa.pdf>

Sandoval, S., et al. (2018). *Una perspectiva fenomenológica para la enseñanza de las ciencias*.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12209/9423>.

Sanchez, N. (2022). *Peces de agua dulce. Anguila eléctrica (Electrophorus electricus)*.  
<https://animalesbiologia.com/peces/agua-dulce/anguila-electrica-electrophorus-electricus>

- Schmidgen, H. (2002). *Of frogs and men: the origins of psychophysiological time experiments, 1850-1865*. Endeavour, 26 4, 142-8. <https://epub.uni-regensburg.de/27126/1/schmidgen.pdf>
- Solomon, E., Berg, L., Martin, & Diana. (2013). *BIOLOGÍA*, Novena edición. (capítulo 41, p 862) <https://www.perlego.com/book/2459198/biologa-pdf>
- Sosa, A., y Rodríguez, O. (2014). *La experimentación en la clase de ciencias de primaria: aportes de la historia y la epistemología de las ciencias*. Conferencia latinoamericana internacional de history and philosophy of science teaching group. <http://laboratoriogrecia.cl/wp-content/uploads/2015/05/SOSA-Y-RODRIGUEZ-C085.pdf>
- Stoddard, P. (1999). *Predation enhances complexity in the evolution of electric fish signals*. *Nature*. 400(6741), 254-256. DOI: 10.1038/2230. [https://www.researchgate.net/publication/12878913\\_Predation\\_enhances\\_complexity\\_in\\_the\\_evolution\\_of\\_electric\\_fish\\_signals](https://www.researchgate.net/publication/12878913_Predation_enhances_complexity_in_the_evolution_of_electric_fish_signals)
- Tanaka, Y., Funano, S., Nishizawa, Y., et al. (2016). *An electric generator using living Torpedo electric organs controlled by fluid pressure-based alternative nervous systems*. Scientific Reports, 6, 25899. <https://doi.org/10.1038/srep25899>
- Universidad Pedagógica Nacional(sf). *Botellas de Leyden*. <http://dfi.upn.edu.co/producto/botellas-de-leyden/>
- Verkhatsky, A., Krishtal, O. A., y Petersen, O. (2006). *From Galvani to patch clamp: the development of electrophysiology*. Pflügers Archiv - European Journal of Physiology, 453(3), 233–247. <https://doi.org/10.1007/S00424-006-0169-Z>
- Volta, A. (1800). *On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds. In a letter from Mr. Alexander Volta, F. R. S. Professor of Natural Philosophy in the University of Pavia, to the Rt. Hon. Sir Joseph Banks, Bart. K.B. P. R. SPhil. Trans. R. Soc.*90403–431. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1800.0018>
- Walsh, J, (1772). To Benjamin Franklin from John Walsh, 27 August 1772,” *Founders Online*, National Archives, <https://founders.archives.gov/documents/Franklin/01-19-02-0188>. [Original source: *The Papers of Benjamin Franklin*, vol. 19, January 1 through

*December 31, 1772*, ed. William B. Willcox. New Haven and London: Yale University Press, New Haven and London, 1975, pp. 285–289.]

## ANEXOS

### ANEXO 1. CUENTOS DE LA SESIÓN 1

#### UN CONTRINCANTE INESPERADO. TEMBLADORES

¡Tacatá!, ¡Tacatá!,

¡Tacatá! ¡Tacatá! ¡Tacatá!

¡Tacatá! ¡Tacatá! ¡Tacatá! ¡Tacatá! ¡Tacatá! ¡Tacatá!

-Algo se acerca, le dice Amadeo a Alexander mientras están en su tienda observando exóticas muestras de flores y plantas desconocidas de los inexplorados parajes de los llanos venezolanos de Caño de Bera.

Los dos hombres salen inmediatamente, pero una nube de polvo se alza sobre sus cabezas y no pueden ver más allá de sus narices; el galope de los caballos se siente más cerca, así que Buena planta (Apodo de Amadeo) está seguro de que han regresado sus guías los indios. Alexander con expresión perpleja se da cuenta que el descabellado plan de sus guías está en marcha; durante algunos días, un grupo de indios galopó hacia la sabana para traer 30 caballos y mulas muy cerca al lugar de campamento de los exploradores, cuando la nube de polvo se disipó, la figura de varios jinetes agitando palos y gritando a viva voz se hizo clara.

- ¡HACIA EL ESTANQUE!, gritó el líder de los jinetes, guiando la manada hacia un cálido y “tranquilo” estanque con fondo fangoso que los indios se negaban a usar para la pesca. De pronto, un sonido ensordecedor llama la atención de Alexander y Amadeo, ¡Hiiiiiiii! ¡Plas! ¡Plas! ¡Hiiiiiiii! ¡Plas! Relinchan los caballos atemorizados mientras sus cascos golpean el fondo de la charca y se escucha ¡Zas! ¡Zas! ¡Zas! ¡Zas! ¡Zas! uno tras otro, caen caballos y mulas chillando de dolor, temblando en el agua sin control o tiesos como estatuas, ¡Zas! ¡Zas! ¡Zas!

- ¡Las veo! le dice Buena planta al indio, - ¡NO LAS LASTIME!, refiriéndose a unos animales amarillentos largos como serpientes escurridizas, que por el alboroto salían momentáneamente a la superficie y luego desaparecían en el barrial,

- ¡ANGUILAS! ¡ANGUILAS! ¡LAS ENCONTRAMOS! gritó Alexander; asombrado por el espectáculo, guio a los indios subidos en los árboles con sus palos y redes para que atraparan con vida algunos ejemplares. Buena planta nota que después de unos minutos los caballos que lucían muertos vuelven en sí y salen torpemente del estanque; las anguilas que al principio saltaban y se retorcían en el agua y sobre los caballos dejaron de moverse, de pronto la calma retorna al estanque y el ¡Zas! ¡Zas! ¡Zas! deja de escucharse.

Alexander, como pez fuera del agua, resbala torpemente con el barro cercano al charco y accidentalmente toca una de las anguilas capturadas con sus pies descalzos ¡Zas!  
**¡Bzazzzzzzzzz!** por un momento pierde la conciencia y una sacudida incontrolable le recorre el cuerpo, esa tarde su cometido habría sido completo, de no ser por el fuerte dolor de rodilla y de cuerpo que le causó su breve encuentro con el animal.

### **EL IMPERIO EN MANOS DE UN SOLO HOMBRE.**

- ¡Dese prisa doctor, el imperio está en sus manos! Con voz preocupada el enviado del imperio apuraba al anciano doctor.

. -paciencia- paciencia- replica Escribonio, Roma no se construyó en un solo día y tampoco se va a terminar en una sola noche. Dígame, qué lo trae a estas horas de la noche a mi morada, finalmente puedo dormir después de cinco días de alboroto por el festival y usted me despierta.

-Es el emperador Claudio, dice el sirviente, - sus servicios son requeridos con urgencia en el palacio imperial.

Scribonio se da cuenta de la gravedad del asunto cuando en frente de su casa nota la basterna (carruaje tirado por caballos, reservado solo para los más acaudalados) listo para trasladarlo colina arriba hacia el Palatino.

Escribonius es llevado por los sirvientes a la habitación imperial, donde están aglomerados sirvientes y plebeyos angustiados por los alaridos del emperador.

ayyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyy

-Cuénteme, qué le ha ocurrido al emperador, pregunta Escribonio a uno de los sirvientes, este sigilosamente se acerca y le susurra que el emperador tiene un dolor mortal en uno de sus pies después de cinco días desenfrenados de banquetes, danza y vinos, este le dice que toda la mañana y la tarde durmió, pero en la noche cuando intentó levantarse, un pie morado como las uvas e hinchado como el pan lo hicieron tropezar y caerse al suelo, haciéndolos pensar que tenía un pie roto; desde ese momento no ha habido médico, sirviente o artífice capaz de calmar su dolor.

Escribonio se acerca con precaución a examinar los pies del emperador, inmediatamente nota que el pie del emperador no está roto, pero no lo puede doblar, está tan caliente como una hoguera al tacto y su piel parece que se va a abrir, el emperador se retuerce de dolor en su cama, así que el sabio médico se da cuenta que un tratamiento convencional no va a funcionar, temiendo no poder ayudar al emperador y asustado por su propio futuro, con duda manda a traer un balde grande y un pez torpedo vivo, los consejeros del imperio se niegan momentáneamente a seguir las instrucciones porque el plan del médico parecía más charlatanería que un remedio, sin embargo, un Claudio furioso y desesperado gritó con determinación. - Haré lo que sea necesario y quien no siga las instrucciones del médico será juzgado por traición.

Ante este ultimátum todos corrieron a conseguir lo más pronto posible cada elemento del tratamiento; pronto los sirvientes trajeron una silla, una tela blanca delgada y un balde grande para sumergir los pies, al cabo de una hora arribaron dos sirvientes cargando con dificultad un balde de agua con algo agitándose con fuerza; luego Claudio fue sentado en la silla sostenido por dos de sus consejeros, este estaba tranquilo hasta que observó de cerca el otro balde que cargaban los sirvientes y notó un pez con forma redonda y aplanada con cola larga que no había conocido antes.

Escribonius se apresuró indicando a los sirvientes que pusieran al animal en el balde frente a la silla, luego moja la tela con agua salada y la pone sobre el pie adolorido del emperador, en seguida, con voz firme le solicita a Claudio que pise al animal con el pie lastimado. Claudio está indeciso pero finalmente lo intenta y por unos segundos se escucha un ¡ZAS!, el emperador cierra sus ojos y tiembla descontroladamente, los consejeros sueltan a Claudio por unos

segundos asustados por una sensación inusual que recorrió sus brazos tan pronto el emperador tocó al pez, luego un silencio total se apoderó de la habitación, no se escuchan gritos de dolor y todos estaban expectantes por la reacción de Claudio, este recobra sus sentidos y se abalanza sobre Escribonius para golpearlo gritando -¡Charlatán! pero, cuando lo agarra de la túnica y se pone de pie, no siente nada, su pierna está totalmente adormecida desde la rodilla hasta los dedos, aunque sigue inflamada, el dolor paralizante que sentía ya no lo atormenta. Escribonio le recomienda al emperador, seguir el tratamiento varias veces al día para evitar el dolor, pero le advierte que debe conseguir más peces porque después de un tiempo pierden sus poderes.

### **EL CIRCO DE ROCHÉ.**

-Damas y caballeros, niños y niñas, sean todos bienvenidos al circo de Roche, donde serán testigos de las criaturas más extrañas y espectaculares traídas de los confines de la tierra. Verán a la mujer barbuda, el feroz rey de la selva, el hombre lobo y nuestro acto principal el *Temblador*, no apto para asustadizos o de corazón débil, antes de darse cuenta *el temblador* les hará recordar su presencia para siempre, ¡ánimense! y deléitense con las maravillas del mundo.

Durante el show y para terminar el espectáculo, en el centro del escenario un ayudante trae lo que parece una gran mesa pesada con una pecera enorme cubierta con una cortina, esta parece moverse, pero no se puede ver lo que hay dentro. El gran *Walsh*, maestro de ceremonias con suspenso invita al público a participar.

-Usted! ¿se atrevería a enfrentar lo que hay detrás de esa cortina? le aseguro que cualquier cosa que le ocurra no durará, ¿puede imaginar qué hay dentro? será una persona, un animal o una criatura mitológica. Walsh continuó

-Necesitamos 8 voluntarios, personas fuertes que no se dobleguen ante nada. Con gran entusiasmo se levantaron varias personas; Walsh sin decirles qué había dentro de la pecera, ubicó a los ocho en línea y les pidió que se tomarán de las manos formando una cadena, uno de ellos, el más joven pidió quedar de primeras, su curiosidad le hizo querer espiar lo que escondía la gran tela, sin embargo, no logró distinguir nada.

- '¡Aghgggggh!'

Se escucha el sonido de terror del público cuando cae la cortina, la silueta de un animal alargado y grueso de casi 1 metro se hace visible, el animal parecido a una serpiente, de color verdoso sin escamas, la cabeza aplanada y la boca grande, con una hilera de dientes cónicos en cada mandíbula esta inmóvil en el fondo del estanque. Luego cuando las luces alumbran la pecera, el animal se agita nadando frenéticamente, se escucha ¡ZAS! ¡ZAS!, el público queda enmudecido mientras el animal se retuerce; dos de los voluntarios se regresan a sus puestos, los que quedan, observan con miedo al animal.

- Contemplan al imponente y único TEMBLADOR, esta anguila posee los más asombrosos poderes, sin tocarlos, hará doblegar hasta el más valiente de los hombres sin el mayor esfuerzo. Los voluntarios restantes se toman de las manos y uno de ellos introduce la mano dentro de la pecera, aunque fueron unos segundos, *todos* hicieron expresiones de dolor combinados con asombro, por unos momentos también se retorcieron, como si perdieran total control sobre sus cuerpos, inclusive, la última persona de la cadena sintió algo recorriendo sus manos a pesar de no estar tocando el agua de la pecera. Después del susto inicial, todos los voluntarios se recuperaron y el público extasiado aplaudió a la inusual criatura.

## **Anexo 2. HISTORIAS CORTAS DE LA SESIÓN 2.**

### **Grupo 1.**

Dos pescadores están cantando cerca de la orilla y recogiendo sus redes de pescar, cuando uno de ellos repentinamente queda paralizado con los ojos en blanco y moviendo de manera extraña el cuerpo, su compañero asustado lo llama, pero este no responde. Cuando se acerca no ve nada extraño solamente un pez torpedo retorciéndose en la red.

### **Grupo 2.**

Un científico en su laboratorio está estudiando una anguila de un metro de largo, primero conecta el extremo de un cable a la cabeza del animal, después hace lo mismo, pero conectando un segundo cable a la cola de la anguila. Los extremos libres de los cables a su vez están cubiertos por una fina capa de papel aluminio, en seguida el investigador acerca poco a poco los extremos de los cables hasta dejar un espacio de pocos milímetros de separación, luego se ve una chispa brillante que salta de un extremo del cable al otro.

### **Grupo 3.**

En un acuario, dos buzos están limpiando el estanque de los peces gato, como ya estaban terminando, uno de ellos salió del estanque y se quitó su traje de buzo hecho de hule (goma), sin embargo, no se percató de recoger una barra de metal de 2 metros de longitud dentro del estanque. El buzo que aún permanecía en el estanque acercó la barra de metal hasta su compañero para que la recibiera, sin embargo, tan pronto la tocó, quedó tieso por unos segundos.

#### **Grupo 4.**

Una familia quiere cruzar un río hacia la otra orilla para hacer una fogata, sin embargo, aunque la corriente es baja el río es profundo, por esto deciden que primero pasarán las personas más valientes de la familia para asegurarse que todo está en orden; los primeros en pasar empiezan a ayudar a cruzar a las otras personas tomándolos de las manos. Repentinamente uno de ellos escucha un sonido extraño y uno de sus familiares empieza temblar, después de esto otro familiar cerca del primero se comporta igual, un tercero llega a rescatarlos y tan pronto los toca, los tres empiezan a temblar de manera extraña. Los familiares que estaban en la orilla se percatan que hay algo en el agua parecido con forma alargada.

#### **Grupo 5.**

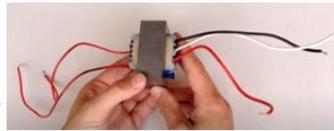
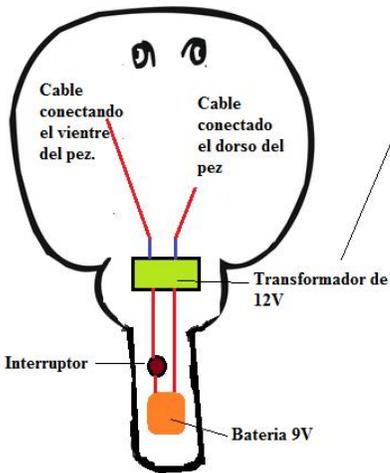
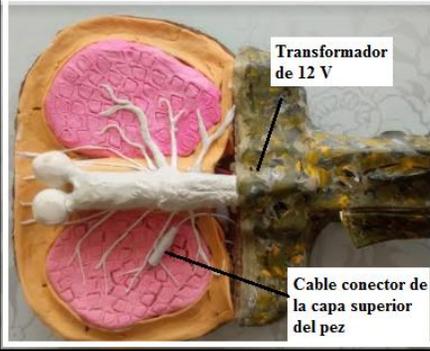
Tommy es un joven que ha tenido problemas con sus manos, continuamente se le duermen y por momentos no puede moverlas, una de sus tías le sugiere que nade en la orilla de la playa donde hay unos peces aplanados que los lugareños le recomendaron para curar diferentes enfermedades, -dicen que después de nadar con ellos, se siente un corrientoso por el cuerpo, luego se te duerme la extremidad y después el hormigueo desaparece.

#### **Grupo 6.**

Son un grupo de peces que nadan en un río turbio. Durante un tiempo merodean el fondo del río y la orilla en busca de comida, repentinamente, ves como los peces que estaban contigo se alejan nadando y otros se quedan completamente inmóviles, tu intentas moverte y escapar pero no lo consigues, solo puedes mover tus ojos; de pronto observas en el fondo del río un enorme animal de cuerpo cilíndrico que parece ser el causante de tu parálisis, sin embargo estas seguro de no haberlo tocado nunca.

### **ANEXO 3. PEZ ELÉCTRICO.**

Parte ventral del pez, exponiendo los cables que ayudan a transmitir la descarga.



Al tocar simultaneamente el dorso y el vientre del pez, se sentirá una descarga y un ligero sonido

**ANEXO 4. MONTAJES DE LA SESIÓN 6.**

