

**¿Es posible una enseñanza contextualizada del potencial de acción, sin ahondar en sus bases moleculares?**

**Is a contextualized teaching of the action potential possible, without delving into its molecular bases?**

Nazira Píriz Giménez<sup>1</sup>

Fecha de recepción: 8 de julio de 2021

Fecha de aprobación: 30 de noviembre de 2021

**Resumen**

Investigaciones didácticas sobre la enseñanza del potencial de acción han evidenciado dos grandes problemáticas: su enseñanza descontextualizada y su abordaje meramente descriptivo. Adicionalmente se han descrito dificultades múltiples por parte de estudiantes en la concepción del potencial de membrana como fenómeno abstracto y local, así como en sus factores determinantes. Este ensayo consiste en un texto argumentativo que propone y desarrolla la tesis de que la enseñanza contextualizada del potencial de acción requiere ahondar en sus bases moleculares, por lo que los problemas señalados resultan complementarios para su comprensión. Se concluye que las propiedades del potencial de acción tales como la propagación, umbral, autorregeneración y refractariedad, por un lado resultan claves en su contextualización y por otro lado requieren para su comprensión de ahondar en las bases moleculares de la respuesta eléctrica referida. Adicionalmente, se discuten algunas estrategias propuestas para su enseñanza.

---

<sup>1</sup>Profesora de Biofísica y de Fisiología humana. Instituto de Profesores "Artigas" y Profesorado Semipresencial. Grupo de Investigación Didáctica y Extensión en Ciencias Biológicas para la Formación de docentes (GIDEBIOF). nazirapiriz@gmail.com

**Palabras clave:** enseñanza del potencial de acción, enseñanza contextualizada de las ciencias.

### **Abstract**

Didactic research on the teaching of action potential has revealed two major problems: its decontextualized teaching and its merely descriptive approach. Additionally, multiple difficulties have been described by students in the conception of the membrane potential as an abstract and local phenomenon, as well as in its determining factors. This essay consists of an argumentative text that proposes and develops the thesis that the contextualized teaching of the action potential requires delving into its molecular bases, so that the aforementioned problems are complementary for their understanding. It is concluded that the properties of the action potential such as propagation, threshold, self-regeneration and refractoriness, on the one hand are key in its contextualization and on the other hand require for its understanding to delve into the molecular bases of the referred electrical response. Additionally, some proposed strategies for their teaching are discussed.

**Key words:** teaching of action potential, contextualized teaching of science.

### **Introducción**

Una de las propiedades que caracteriza a los seres vivos es la capacidad de responder a estímulos, la que se hace viable gracias a diversos mecanismos de señalización celular. Tanto en organismos unicelulares como pluricelulares, la generación, recepción y transducción de señales permite cumplir con diversas funciones incluyendo la respuesta a cambios ambientales que hacen posible la supervivencia.

La señalización celular incluye procesos químicos y físicos, y dentro de estos últimos se destacan las respuestas eléctricas de las membranas celulares como el potencial de acción (Píriz Giménez, N., 2016; Cingolani y Houssay, 1996).

Según González (2016), Quinche Beltrán (2015) y Cortés (2013), la enseñanza del potencial de acción presenta dos grandes problemas: su enseñanza descontextualizada y su enseñanza meramente descriptiva sin ahondar en los mecanismos subyacentes. Por su parte, Machado y Mello-Carpes (2018) plantean que los estudiantes pueden recordar la descripción del proceso del potencial de acción, pero que la dificultad surge cuando se profundiza en los mecanismos moleculares que lo determinan. Esto resulta además acorde a lo descrito por Postigo y López-Manjón (2012) sobre la dificultad particular que ofrece la biología celular y molecular.

El presente ensayo revisa las problemáticas señaladas por González (2016), Quinche Beltrán (2015) y Cortés (2013), procurando dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Es posible una enseñanza contextualizada del potencial de acción, sin ahondar en sus bases moleculares? Se reflexiona sobre el vínculo entre las problemáticas planteadas a la luz de investigaciones didácticas sobre la enseñanza del potencial de acción y sus bases moleculares.

Para ello se realizan las siguientes apreciaciones como forma de organización del análisis:

- Las respuestas eléctricas de las membranas celulares como el potencial de acción, quedan determinadas por el pasaje de iones a través proteínas (canales iónicos) en un proceso de electrodifusión. Esto pone en uno de los focos de discusión al **potencial de equilibrio electroquímico de los iones y su efecto en el potencial de membrana ( $V_m$ )**;
- La contextualización del potencial de acción implica identificarlo como parte de los mecanismos involucrados en procesos complejos que “vinculan” diversos niveles de organización biológica. Para lograr una adecuada contextualización es preciso comprender la **propagación del potencial de acción y su relación con otros mecanismos de señalización** tales como la liberación de neurotransmisores en sinapsis químicas.

A continuación, se desarrolla cada uno de los puntos señalados y se comentan resultados de investigaciones didácticas que atañen a ellos. Se presentan

también ***dificultades adicionales que podrían influir negativamente en la contextualización de respuestas eléctricas de las membranas celulares.***

Como tesis central de este trabajo se plantea que la enseñanza contextualizada del potencial de acción requiere del abordaje de sus bases moleculares, así como la comprensión de cómo el potencial de membrana es afectado por procesos de electrodifusión.

### **I. El potencial de equilibrio electroquímico de iones y su efecto en el potencial de membrana**

Cerchiara, Kim, Meir & Doherty (2019) plantean la relevancia de la comprensión del movimiento de iones a través de las membranas celulares y su efecto en el potencial de membrana ( $V_m$ ), como concepto clave y sustento de la fisiología. Dichos investigadores relatan que estudiantes universitarios logran comprender el gradiente químico, pero presentan dificultades con la comprensión del gradiente electroquímico. En la formación del profesorado, Píriz Giménez (2020) relata que con frecuencia los estudiantes creen que el gradiente electroquímico es el nombre que adopta el gradiente de concentración cuando el soluto es un ion y por ende lo conciben como una mera denominación.

Por su parte, Crowther (2017) plantea la necesidad de la búsqueda de estrategias tanto para la comprensión de los gradientes electroquímicos, como del efecto de las corrientes iónicas en el potencial de membrana.

Sawyer, Hennebry, Revill, & Brown, (2017) coinciden en que la comprensión del potencial de membrana resulta esencial para la comprensión de la señalización celular, y expresan que “el concepto de potencial de equilibrio es vital para comprender los orígenes del potencial de membrana” (Sawyer et al., 2017, p.231, traducción propia). Dichos investigadores proponen que una dificultad clave en este último, radica en el carácter logarítmico de la ecuación de Nernst, la que además es trasladable a la ecuación de Goldman-Hodgkin y Katz (GHK) para potencial de membrana de reposo. Cardozo (2016) coincide en que el problema se encuentra ampliamente difundido, expresando que “el potencial

eléctrico de las membranas sigue siendo un misterio envuelto en una ecuación incómoda...” (p. 543, traducción propia).

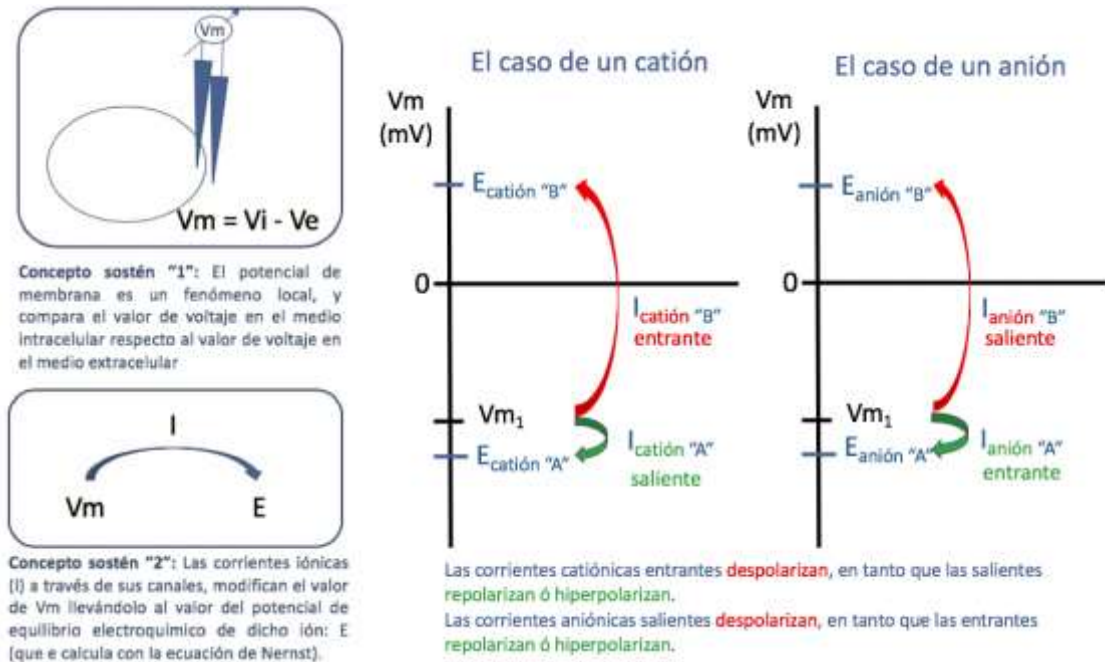
No obstante estas dificultades, en nuestra experiencia, el análisis de los signos de una función logarítmica del tipo  $f(x) = \ln x$ , según diferentes valores adoptados por “x”, suele ser accesible a estudiantes de profesorado. A partir de estos razonamientos y con algunas aclaraciones de aplicación en la ecuación de Nernst, los estudiantes logran un manejo matemático que los habilita a comprender la influencia de los potenciales de equilibrio electroquímicos de los iones en el potencial de membrana de reposo (ecuación de GHK).

Acorde a los conceptos de Cerchiara et al. (2019), Crowther (2017), Sawyer et al. (2017) y Cardozo (2016), se proponen dos conceptos base o sostén (Galagovsky, 2004) en la comprensión del efecto del potencial de equilibrio electroquímico en el potencial de membrana:

1.- El potencial de membrana es un fenómeno local, siendo una medida relativa en tanto compara el voltaje intracelular respecto al extracelular. Se considera importante destacar que no es posible medir en forma aislada cada uno de ellos, pero sí su diferencia:  $V_i - V_e$ ;

2.- Los iones tienden a atravesar las membranas de manera de modificar el  $V_m$ , llevándolo hacia su propio valor de potencial de equilibrio electroquímico (“E”) calculado por la ecuación de Nernst.

A continuación, en la figura 1, se propone una representación que, de construirse en forma conjunta con el estudiantado, puede resultar muy facilitadora.



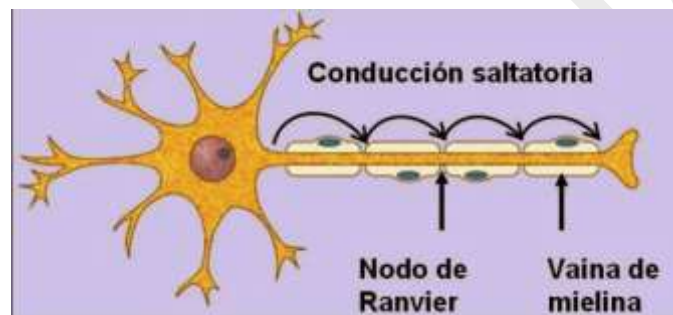
**Figura 1.** Representaciones que han resultado beneficiosas en la formación de docentes, para la comprensión del efecto de una corriente iónica pasiva en el valor del potencial de membrana ( $V_m$ ). A partir de los conceptos sostén ilustrados en el sector izquierdo, es posible deducir el sentido de las corrientes iónicas, según valores de:  $V_m$ ,  $E$  y  $z$  (con  $z$  positivo cuando el ion es un catión y negativo cuando es un anión).

## II. La propagación del potencial de acción y su relación con otros mecanismos de señalización

Montagna, de Azevedo, Romano & Ranvaud (2010) declaran que estudiantes universitarios de Neurofisiología, presentan grandes dificultades para comprender la transmisión sináptica en la sinapsis química. Según los investigadores, aún estudiantes que realizan cursos avanzados creen que el mismo potencial de acción generado en la neurona presináptica se traslada a la célula postsináptica.

Los autores consideran que la expresión "transmisión sináptica" induce a tal error, en tanto hace pensar que algo "incambiado" pasa de una membrana a otra. Este pasaje "incambiado" del potencial de acción, de una célula a otra, podría implicar una concepción materializada de dicho proceso. Esto fue explorado por Píriz, Tucci, Lezama y Terevinto (2016), quienes plantean una posible asociación entre dicha concepción y la utilización de expresiones habituales en libros de

texto referidas al potencial de acción, tales como: “se traslada”, “se desplaza”, “circula”. Dichos autores estudiaron ideas de estudiantes de profesorado sobre la “conducción saltatoria” del potencial de acción, encontrando que cerca de la tercera parte de ellos sugerían conceptualizar a dicha respuesta como una entidad material, sólo un 15% sugerían claras ideas sobre su carácter abstracto, en tanto que algo más de la mitad de ellos mostraba ideas confusas al respecto. Los investigadores señalan que el empleo de figuras que incorporan flechas en el medio extracelular dirigidas de un nodo a otro como las indicadas en la figura 2, pueden contribuir a conceptualizar a dicha respuesta eléctrica como una entidad material, dando lugar a una interpretación literal de la expresión “conducción saltatoria”.



**Figura 2.** Representación habitual de la conducción saltatoria. La representación sugiere que el potencial de acción literalmente salta de un nodo de Ranvier a otro. (Figura tomada de: [http://www.genomasur.com/BCH/BCH\\_libro/capitulo\\_09.htm#impulso](http://www.genomasur.com/BCH/BCH_libro/capitulo_09.htm#impulso))

Montagna et al. (2010) recomiendan el uso de la expresión “propagación discontinua”, a la que adherimos.

La comprensión de la propagación del potencial de acción requiere su conceptualización como fenómeno abstracto que tiene lugar como consecuencia del pasaje de cargas eléctricas transportadas por iones a través de las membranas celulares (Píriz, Tucci y López, 2018). Su distribución heterogénea determina corrientes locales que modifican también localmente el potencial de membrana ( $V_m$ ), de manera que cuando se alcanza el umbral se dispare una nueva respuesta de tipo “todo o nada”. El umbral, por su parte, queda determinado por la densidad de canales por unidad de área, y así, por la conductancia iónica.

Otras propiedades del potencial de acción como la autorregeneración y la refractariedad, se explican por eventos que tienen lugar a nivel molecular y “local”. Ellos incluyen cambios en el estado de canales iónicos voltaje-dependientes, lo que implica también modificaciones en la conductancia iónica de las membranas celulares.

En síntesis, tanto la propagación del potencial de acción como el concepto de umbral, autorregeneración y refractariedad, constituyen propiedades esenciales para lograr contextualizar dicha respuesta eléctrica en procesos biológicos más complejos, y su comprensión requiere indefectiblemente del abordaje de sus bases moleculares y el estudio de procesos eléctricos locales.

En cuanto al vínculo entre el potencial de acción y otros procesos de señalización, la liberación de neurotransmisores en sinapsis químicas, constituye un “proceso intermedio” clásico y clave entre el disparo del potencial de acción y su contextualización. En tal caso, el potencial de acción se da en forma independiente en dos células comunicadas a través de una sinapsis química. Más allá de los mecanismos involucrados, en última instancia el neurotransmisor liberado en dicha sinapsis altera la conductancia iónica de la membrana postsináptica determinando una corriente iónica y una respuesta eléctrica graduada en dicha membrana. Es posible en este punto, vislumbrar cómo nuevamente la explicación de este proceso requiere diferenciar conductancia de corriente iónica (elementos ya señalados). Por su parte, la integración sináptica (y por ende la sumación de respuestas graduadas) puede determinar que dicha respuesta despolarice la membrana y alcance el umbral disparando un nuevo potencial de acción.

Procesos similares se dan en la exocitosis de hormonas tales como la insulina (Latorre et al., 1996), como ejemplo de acoplamiento excito-secretor.

En las células musculares el disparo de potenciales de acción desencadena un proceso conocido como “acoplamiento excito-contractor” (Píriz Giménez, 2016; Latorre, 1996). En el músculo esquelético es un proceso posterior a la “transmisión sináptica”, en tanto que en músculo cardíaco y ciertos músculos lisos, se desencadenan espontáneamente sin inervación (“automatismo”).



### **III. Dificultades adicionales que podrían influir negativamente en la contextualización de respuestas eléctricas de las membranas celulares**

A partir de nuestra experiencia, consideramos que a los problemas señalados se agregan otros asociados y que mencionamos a continuación:

- La excitabilidad continúa enseñándose como una propiedad exclusiva de tejidos nervioso y muscular, desconociéndose que existen multiplicidad de células (endócrinas, de tejido conectivo, de planta y organismos unicelulares entre otras), que también disparan potenciales de acción;
- El potencial de acción no es el único tipo de respuesta eléctrica de las membranas celulares, sino que las respuestas graduadas constituyen fenómenos de gran relevancia fisiológica que además también se dan por procesos de electrodifusión a través de canales iónicos;
- La distribución de canales iónicos en los seres vivos es sumamente amplia y no se limita a tejidos excitables, lo que constituye un indicio de su participación en múltiples funciones que superan ampliamente las vinculadas a la excitabilidad.

### **Conclusiones**

Retomando la pregunta que titula este trabajo, entendemos que los problemas señalados por González (2016), Quinche Beltrán (2015) y Cortés (2013) respecto a la enseñanza del potencial de acción, si bien son diferentes, resultan complementarios para su comprensión.

Fundamentamos este planteo en tanto la enseñanza contextualizada del potencial de acción requiere de la comprensión de propiedades como la propagación, umbral, autorregeneración y refractariedad. Para ello, resulta crucial comprender el origen del fenómeno “potencial de membrana” y sus cambios como consecuencia de corrientes iónicas transmembrana a través de canales que modifican su conformación (y estado) y dando lugar a corrientes “locales”. Entendemos que el nexo clave entre las bases moleculares y la

contextualización del potencial de acción radica en las propiedades mencionadas y que dicha contextualización requiere irremediablemente, el abordaje de las bases moleculares del potencial de acción.

### Referencias bibliográficas

Cardozo, D. (2016). An intuitive approach to understanding the resting membrane potential. *Advances in physiology education*, 40(4), 543-547. Recuperado de [An intuitive approach to understanding the resting membrane potential | Advances in Physiology Education](#)

Cerchiara, J. A., Kim, K. J., Meir, E., Wenderoth, M. P., & Doherty, J. H. (2019). A new assessment to monitor student performance in introductory neurophysiology: Electrochemical Gradients Assessment Device. *Advances in physiology education*, 43(2), 211-220. Recuperado de [A new assessment to monitor student performance in introductory neurophysiology: Electrochemical Gradients Assessment Device | Advances in Physiology Education](#)

Cingolani y Houssay (1996) *Fisiología humana*. Editorial Ateneo. Buenos Aires.

Cortés ME (2013) Módulo de autoaprendizaje del potencial de acción para estudiantes de Ciencias biomédicas y profesores de Química y Biología. Tesis. Universidad de Santiago de Chile. Recuperado de [Modulo-de-autoaprendizaje-del-potencial-de-accion-para-estudiantes-de-ciencias-biomedicas-y-profesores-de-quimica-y-biologia.pdf \(researchgate.net\)](#)

Crowther, G. J. (2017). Which way do the ions go? A graph-drawing exercise for understanding electrochemical gradients. *Advances in Physiology Education*. Recuperado de [Which way do the ions go? A graph-drawing exercise for understanding electrochemical gradients | Advances in Physiology Education](#)

Galagovsky, L. R. (2004). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable: parte 1, el modelo teórico. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 229-240. Recuperado de [Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable : parte 1 : el modelo teórico \(educacion.gob.es\)](#)

Latorre, R. (Ed.). (1996). *Biofísica y fisiología celular* (No. 49). Universidad de Sevilla.

Machado, R. S., & Mello-Carpes, P. B. (2018). The use of an open-ended, student-led activity to aid in the learning and understanding of action potential. *Advances in physiology education*, 42(2), 324-328. Recuperado de [The use of an open-ended, student-led activity to aid in the learning and understanding of action potential | Advances in Physiology Education](#)

Montagna, E., de Azevedo, A. M., Romano, C., & Ranvaud, R. (2010). What is transmitted in “synaptic transmission”? *Advances in physiology education*, 34(2), 115-116. Recuperado de [What is transmitted in “synaptic transmission”? | Advances in Physiology Education](#)

Píriz Giménez, N. (2020) Representaciones visuales en la enseñanza de la Biología: El caso del transporte de solutos a través de membranas celulares. *Procienci@s*, v.: 3 1 , p.:1 – 15. Recuperado de [REPRESENTACIONES VISUALES EN LA ENSEÑANZA DE LA BIOLOGÍA | Prociências \(prociencias.org\)](#)

Píriz Giménez, N.; Tucci Añón J. y López Larrama, M.N. (2018) La importancia cualitativa de los números en la enseñanza de la Biología. Aprendizaje sustentable del potencial de acción. *Química Viva*, v.: 17, N°3, p. 1-5. Recuperado de [La importancia cualitativa de los números en la enseñanza de la Biología. Aprendizaje sustentable del potencial de acción \(cfe.edu.uy\)](#)

Píriz Giménez, N.; Tucci Añón, J.; Lezama Balsas J.; Terevinto Ziziunas, E. (2016) Saltatory conduction: uncovering the mind of Biology students. *International Educational Scientific Research Journal*, v.: 2 3 2, p.: 4 – 6. Recuperado de [Saltatory conduction: uncovering the mind of biology students \(cfe.edu.uy\)](#)

Píriz Giménez, N. (2016) Biofísica para la formación del Profesorado. Ediciones Ciencia. 2ª edición. Montevideo. Recuperado de [Biofísica para la formación del Profesorado \(cfe.edu.uy\)](#)

Postigo Angón, Y. & Manjón, A. L. (2012). Representaciones visuales del cuerpo humano: análisis de los nuevos libros de primaria de ciencias naturales en la reforma educativa mexicana. Revista mexicana de investigación educativa, 17(53), 593-629. Recuperado de [Representaciones visuales del cuerpo humano: análisis de los nuevos libros de primaria de ciencias naturales en la reforma educativa mexicana \(scielo.org.mx\)](#)

Quinche Beltrán, S. J. (2015) Enseñanza de la transmisión del impulso nervioso desde el contexto de la física, la química y la biología, en octavo grado. Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales. Recuperado de [Enseñanza de la transmisión del impulso nervioso desde el contexto de la física, la química y la biología, en octavo grado \(unal.edu.co\)](#)

Sawyer, J. E., Hennebry, J. E., Revill, A., & Brown, A. M. (2017). The critical role of logarithmic transformation in Nernstian equilibrium potential calculations. Advances in Physiology Education, 41(2), 231-238. Recuperado de [The critical role of logarithmic transformation in Nernstian equilibrium potential calculations | Advances in Physiology Education](#)