

Recibido: 06.02.2025 • Aceptado: 26.11.2025

Palabras clave: Canal iónico, membrana, célula, canalopatía.

Canales iónicos: las puertas moleculares de las células

ALDO AZMAR RODRÍGUEZ MENCHACA

aldo.rodriquez@uaslp.mx

FACULTAD DE MEDICINA, UASLP

MAYRA DELGADO RODRÍGUEZ

mayra.delgado@uaslp.mx

FACULTAD DE MEDICINA, UASLP

Los canales iónicos son proteínas esenciales para el organismo. Su correcto funcionamiento es clave para la salud, sin embargo, su disfunción puede dar lugar a diversas enfermedades que afectan principalmente el sistema nervioso, cardiovascular y metabólico. Este artículo aborda de manera breve su clasificación, estructura, funciones más relevantes y su relación con distintas patologías.

“Los canales iónicos están involucrados en cada pensamiento, cada percepción, cada movimiento, cada latido del corazón”, Clay M. Armstrong

Los canales iónicos son proteínas integrales de membrana que forman conductos acuosos a través de la membrana celular. Su función principal es permitir el paso selectivo de iones hacia el interior o el exterior de la célula a una velocidad extremadamente rápida. Estas proteínas son esenciales para la actividad de las células excitables, como las neuronas y las fibras musculares. Asimismo, están involucradas en otros procesos celulares, como la proliferación, migración, regulación del volumen celular y funciones especializadas, como la liberación de insulina o la contractilidad muscular.

Sin embargo, las mutaciones o disfunciones en los canales iónicos pueden provocar enfermedades conocidas como canalopatías, que afectan principalmente los sistemas nervioso y cardiovascular, así como diversos procesos metabólicos y autoinmunes. Por ello, los medicamentos dirigidos a los canales iónicos representan una intervención terapéutica clave en el tratamiento de diversas enfermedades.

Clasificación de los canales iónicos

Los canales iónicos pueden clasificarse según diferentes criterios, siendo los más comunes el tipo de ion que transporta y su mecanismo de activación (Figura 1).

Por el tipo de ion que transportan: Este criterio clasifica a los canales según el ion que pueden transportar a través de la membrana celular.

- a) Canales de sodio (Na^+): permiten el paso de iones de sodio. Por ejemplo: los canales de sodio en las neuronas, fundamentales para la generación de potenciales de acción.
- b) Canales de potasio (K^+): permiten el paso de iones de potasio. Por ejemplo: los canales de potasio que regulan el potencial de membrana y son cruciales para la repolarización celular.
- c) Canales de calcio (Ca^{2+}): permiten el paso de iones de calcio. Por ejemplo: los canales de calcio en células musculares, esenciales para la contracción muscular.
- d) Canales de cloruro (Cl^-): permiten el paso de iones de cloruro. Por ejemplo: los canales de cloruro involucrados en el equilibrio de iones y el volumen celular.

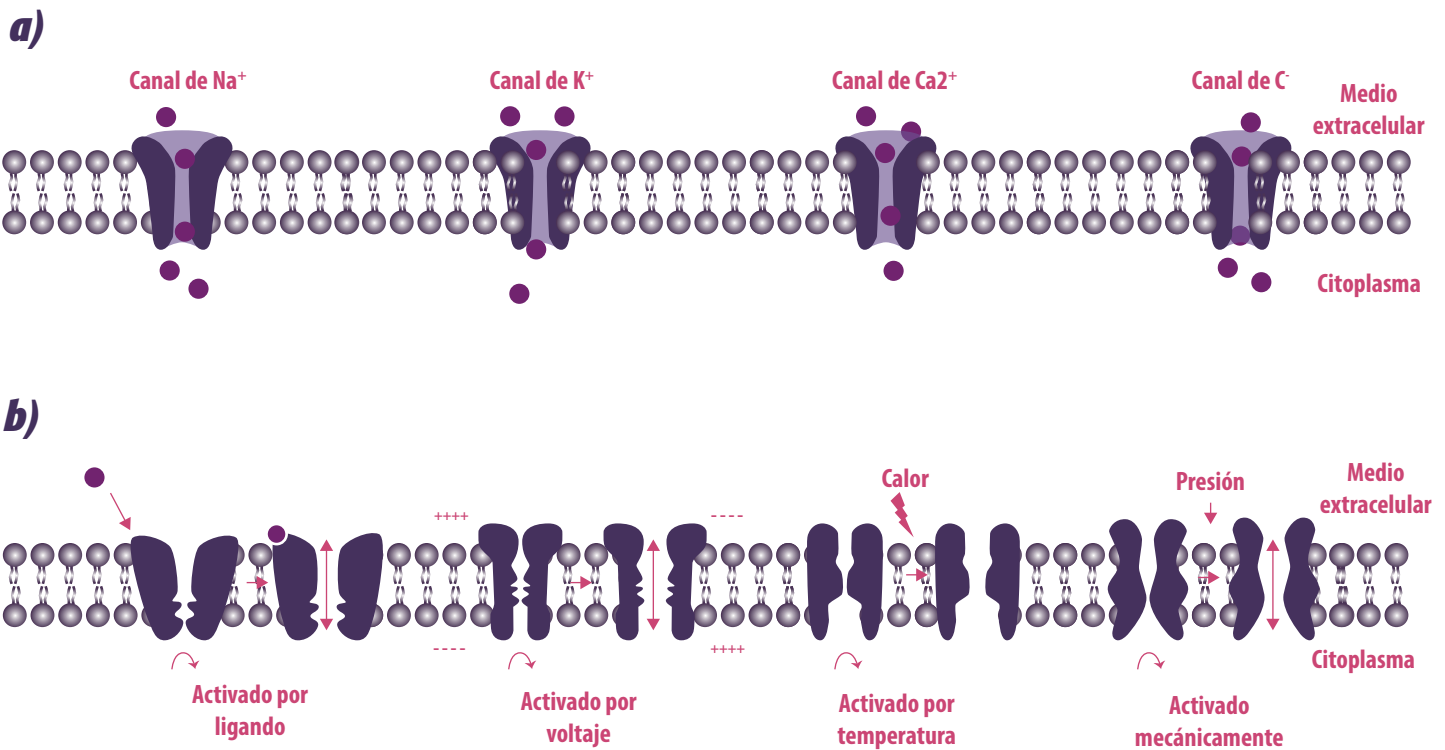


Figura 1.

Los canales iónicos se pueden clasificar por el tipo de ion que transportan a) y por el mecanismo que los activa b)

Por su mecanismo de activación: Este criterio se basa en el estímulo que provoca la apertura de los canales iónicos.

- a) Canales activados por voltaje: se abren o cierran en respuesta a cambios en el potencial eléctrico de la membrana celular. Por ejemplo: canales de sodio y potasio en las neuronas.
- b) Canales activados por ligando: se abren o cierran cuando un ligando (como un neurotransmisor) se une al canal. Por ejemplo: receptores de glutamato o canales de cloruro activados por ácido gamma-aminobutírico (GABA).
- c) Canales activados mecánicamente: se abren en respuesta a estímulos mecánicos, como la presión o la distorsión de la membrana. Por ejemplo: canales iónicos en las células sensoriales de la piel.
- d) Canales activados por temperatura: se abren o cierran en respuesta a cambios de temperatura. Ejemplo: canales de Potencial Receptor Transitorio (TRP, por sus siglas en inglés) involucrados en la percepción del dolor.

Estructura de los canales iónicos

La estructura de los canales iónicos es fundamental para su funcionamiento, pues está organizada de manera que

permite la apertura y el cierre del poro de conducción de manera precisa y controlada. Un canal iónico puede dividirse en varias partes clave, que incluyen las subunidades, el poro, el filtro de selectividad, las hélices transmembranales y los dominios regulatorios (Figura 2).

Poro de conducción y filtro de selectividad: el poro de conducción es el canal a través del cual los iones pasan de un lado a otro de la membrana. Este poro tiene una estructura cuidadosamente regulada para permitir que sólo iones de un tipo específico puedan atravesarlo. En la base del poro se encuentra un filtro de selectividad, una estructura que actúa como tamiz que asegura que sólo los iones de tamaño y carga específicos puedan pasar por el canal.

Subunidades del canal: los canales iónicos generalmente están formados por múltiples subunidades que se ensamblan para formar un complejo funcional. En muchos casos, estas subunidades se agrupan en torno a un poro central. Las subunidades pueden estar formadas por diferentes secuencias de aminoácidos que se ensamblan de manera específica, formando una estructura tridimensional que es crucial para la función del canal.

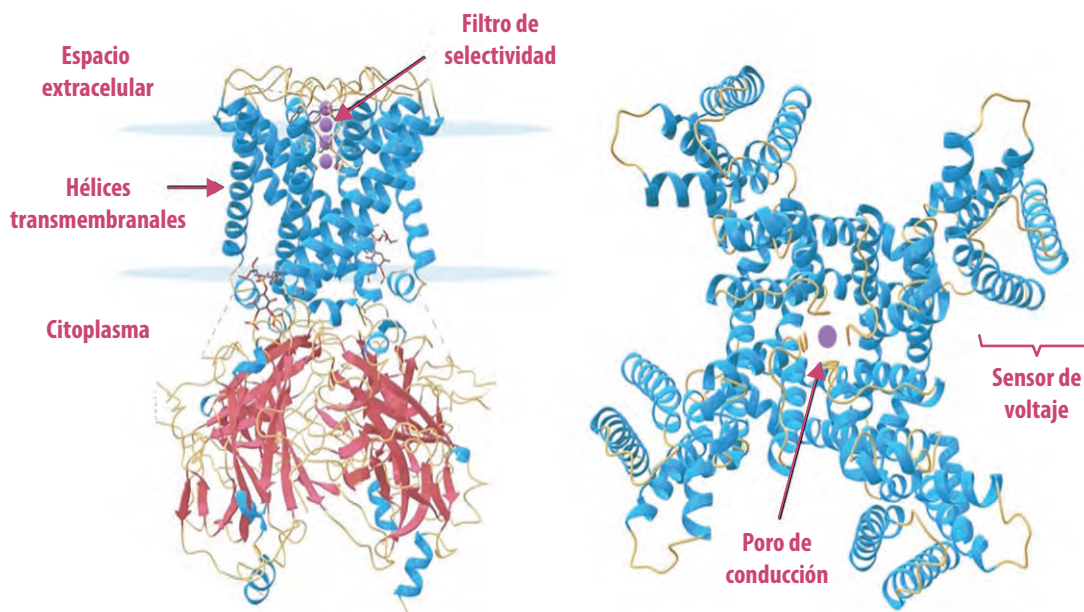


Figura 2.
Estructura general de los canales iónicos y las partes que los conforman, desde una vista lateral (izquierda) y vista superior (derecha). Estructuras tomadas de NIH 3D

Hélices transmembranales: las proteínas que componen los canales iónicos están formadas por hélices alfa transmembranales, estructuras helicoidales que se insertan en la membrana celular y atraviesan la bicapa lipídica. Estas hélices son responsables de la formación del poro y la estabilización del canal en la membrana. Además, participan en la formación de las distintas conformaciones del canal. Pueden experimentar pequeños cambios en su forma para abrir o cerrar el poro en respuesta a señales específicas, como cambios de voltaje o la unión de ligandos.

Dominios regulatorios: los canales iónicos también contienen dominios regulatorios, que son regiones de la proteína que controlan la apertura y el cierre del canal. Estos dominios responden a diferentes estímulos, como cambios de voltaje (en canales activados por voltaje), la unión de ligandos (en canales activados por ligando), o la distorsión mecánica de la membrana (en los canales activados mecánicamente). Estos dominios permiten que los canales se abran y cierren en momentos precisos, regulando así el flujo de iones y contribuyendo a procesos vitales como la transmisión de señales eléctricas.

Funciones de los canales iónicos en el organismo

Los canales iónicos desempeñan una variedad de funciones cruciales en el organismo. A continuación, se describen algunas de las más relevantes; el cuerpo humano

es en gran medida como una máquina bioeléctrica, y los canales iónicos son los protagonistas de esta propiedad. Cada pensamiento, percepción, movimiento y latido del corazón depende de la capacidad de nuestras células para generar y transmitir señales eléctricas. Los canales iónicos permiten el flujo de cargas eléctricas a través de la membrana celular, creando impulsos eléctricos esenciales para la comunicación celular.

Generan el latido de nuestro corazón: Los canales de sodio, potasio y calcio son los responsables de generar y regular los impulsos eléctricos en el corazón, conocidos como potenciales de acción. Sin ellos, el corazón no podría latir de manera sincronizada ni generar la fuerza necesaria para bombear sangre a todo el cuerpo. Por ello, estos canales son fundamentales para la función cardíaca normal y la salud cardiovascular.

Nos permiten controlar nuestros movimientos: En los músculos, los canales de calcio activan la contracción al permitir la entrada de ese ion, mientras que los canales de sodio y potasio participan en los procesos de despolarización y repolarización, asegurando que los músculos se contraigan y se relajen correctamente. Además, en el sistema nervioso, los canales iónicos permiten la transmisión de señales eléctricas entre el cerebro y los músculos, coordinando los movimientos de manera eficiente.



Figura 3.

Los canales iónicos permiten detectar, interpretar y reaccionar ante diversos estímulos como sentir el dolor, el contacto de la piel, observar, escuchar música o sentir el frío del invierno. *Imágenes de PublicDomainPictures, Timisu, Jiradet Inrungruang, un-perfekt y Dmitriy Gutarev en Pixabay.*

Regulan la glucosa en sangre: los canales iónicos también desempeñan un papel clave en la liberación de insulina. En las células beta del páncreas, los canales de potasio sensibles a ATP (K_{ATP}) detectan los niveles de glucosa y regulan la entrada de calcio, lo que desencadena la secreción de insulina.

Este mecanismo asegura un equilibrio adecuado de glucosa en el organismo, permitiendo su uso eficiente por las células.

Son fundamentales para detectar, interpretar y reaccionar ante los estímulos del mundo exterior: los canales iónicos juegan un papel crucial en nuestra capacidad para percibir el entorno que nos rodea. Son responsables de generar y transmitir señales eléctricas que permiten sentir estímulos como el tacto, la temperatura, el dolor y los cambios en el ambiente (Figura 3).

Estos canales están presentes en las células sensoriales del organismo, como las células de la piel, los músculos y los órganos sensoriales (ojos, oídos, nariz, etc.).

- a) Tacto y presión: los canales activados mecánicamente se abren en respuesta a la presión o deformación de la membrana celular, permitiendo percibir estímulos táctiles, como el contacto o la presión en la piel.
- b) Temperatura: los canales iónicos activados por temperatura, como los canales TRP, permiten percibir sensaciones térmicas, desde el calor hasta el frío, ayudando a mantener el equilibrio térmico del cuerpo.
- c) Dolor: los canales iónicos como el TRPV1 se activan por estímulos dolorosos, como el calor extremo, y envían señales al cerebro que interpretamos como dolor.
- d) Sentidos específicos: en los ojos, los canales iónicos participan en la conversión de estímulos luminosos en señales eléctricas que el cerebro interpreta como visión. En los oídos, permiten la conversión de las vibraciones sonoras en señales eléctricas, facilitando la audición.

Canalopatías: enfermedades vinculadas a los canales iónicos

Las canalopatías son enfermedades causadas por disfunciones en los canales iónicos que afectan el flujo de iones a través de las membranas celulares. Estas patologías pueden impactar varios sistemas del organismo, incluyendo el cardiovascular, nervioso y muscular.

Las canalopatías son enfermedades causadas por disfunciones en los canales iónicos que afectan el flujo de iones a través de las membranas celulares. Estas patologías pueden impactar varios sistemas del organismo, incluyendo el cardiovascular, nervioso y muscular.

Entre los ejemplos más representativos se encuentra el síndrome de QT largo, originado por mutaciones en los genes que codifican los canales de sodio, potasio y calcio responsables de la transmisión de señales eléctricas en el corazón.



ALDO AZMAR RODRÍGUEZ MENCHACA

Químico Bacteriólogo Parasitólogo por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Maestría y Doctorado en Ciencia Fisiológicas por la Universidad Autónoma de Colima. Posdoctorado en Virginia Commonwealth University. Se encuentra trabajando en "Mecanismos de apertura-cierre, rectificación y farmacología de los canales de potasio, rectificación entrante Kir4.1/Kir5.1" (SECIHTI - CBF2023-2024-2861). Actualmente se desempeña como profesor de tiempo completo en la Facultad de Medicina de la UASLP.

Entre los ejemplos más representativos se encuentra el síndrome de QT largo, originado por mutaciones en los genes que codifican los canales de sodio, potasio y calcio responsables de la transmisión de señales eléctricas en el corazón. Estas alteraciones pueden causar arritmias. Asimismo, ciertas formas de epilepsia y miotonía, que están asociadas con alteraciones en los canales iónicos del cerebro y los músculos, respectivamente. Otras enfermedades, como el síndrome de Bartter, resultan de mutaciones en los genes que codifican los canales encargados de la reabsorción de electrolitos en los riñones.

Además, trastornos como la fibrosis quística, relacionado con el mal funcionamiento de los canales de cloruro, y la miastenia gravis, que afecta los canales de acetilcolina, subrayan la importancia de los canales iónicos en la salud y su implicación en diversas enfermedades.

Fármacos y terapias dirigidas a los canales iónicos

Los canales iónicos desempeñan un papel fundamental en la terapéutica moderna, debido a su participación para el tratamiento de diversas enfermedades, dado su participación en la transmisión de señales eléctricas y la regulación de procesos celulares. Muchos fármacos han sido diseñados para modular su actividad. Por ejemplo, los bloqueadores de canales de calcio se emplean en el tratamiento de la hipertensión y las arritmias, ya que reducen la contracción del músculo cardíaco y mejoran la circulación sanguínea.

Del mismo modo, los inhibidores de canales de sodio y potasio se utilizan para controlar las convulsiones en pacientes con epilepsia, ya que regulan la excitabilidad neuronal y la propagación de los impulsos eléctricos en el cerebro. Además, los canales iónicos son objetivos terapéuticos en enfermedades autoinmunes, como la esclerosis múltiple, donde se emplean fármacos para modular la actividad de los canales de sodio. En enfermedades respiratorias como la fibrosis quística, los moduladores de los canales de cloruro mejoran la función pulmonar y reducen la viscosidad

del moco. En el ámbito de la anestesia, los fármacos que bloquean los canales iónicos inducen el estado de insensibilidad y alivian el dolor; así ocurre con los anestésicos locales que actúan sobre los canales de sodio. Asimismo, en el tratamiento del dolor crónico, los antagonistas de los canales de calcio y los inhibidores de los canales de sodio reducen la transmisión de señales nociceptivas en el sistema nervioso central.

Por qué es importante la investigación sobre los canales iónicos

Como mencionamos anteriormente, los canales iónicos son fundamentales no solo para el funcionamiento normal del organismo, sino también para una amplia gama de procesos biológicos esenciales. Dado que las alteraciones en su funcionamiento pueden provocar una serie de trastornos complejos como la epilepsia, las arritmias cardíacas y las enfermedades musculares, su estudio se ha convertido en una pieza clave para comprender mejor estas afecciones y sus mecanismos subyacentes. Además, los canales iónicos representan un área crucial para el desarrollo de terapias y fármacos más específicos. Al modular su actividad, es posible abordar diversas patologías, lo que abre nuevas posibilidades para tratar enfermedades de difícil manejo en la actualidad.

Agradecimientos

El trabajo de investigación de los autores es apoyado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación a través del convenio CBF2023-2024-2861.

Bibliografía

- NIH 3D. (2020). *Crystal structure of the G protein-gated inward rectifier K⁺ channel GIRK2 (Kir3.2) R201A mutant in complex with PIP2* (Version 2.x). NIH 3D. <https://doi.org/10.60705/3DPX/14704.2>
- Armstrong, C. M., & Hollingworth, S. (2021). Na⁺ and K⁺ channels: history and structure. *Biophysical journal*, 120(5), 756–763. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2021.01.013>
- Hille, B., Armstrong, C. M., & MacKinnon, R. (1999). Ion channels: from idea to reality. *Nature medicine*, 5(10), 1105–1109. <https://doi.org/10.1038/13415>
- Cannon S. C. (2007). Physiological principles underlying ion channelopathies. *Neurotherapeutics: the journal of the American Society for Experimental NeuroTherapeutics*, 4(2), 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.nurt.2007.01.015>