

# Origen del potencial Transmembránico Celular

*Dr. Jesús A. Flores Rivero*  
Mérida, Yucatán. México

LA célula es un complicado organismo que sirve de base estructural y funcional a los seres vivos. Su medio interno se encuentra circunscrito por una membrana, que no es un simple medio de demarcación sino un importante órgano, que da asiento a gran parte de los mecanismos que rigen los intercambios entre los líquidos y solutos que la constituyen y el medio ambiente pericelular.

La membrana celular tiene un espesor que varía de 75 a 100 Å, y puede ser clasificada dentro del grupo de las membranas dialíticas, aún cuando sin serlo exactamente, dado que posee permeabilidad selectiva condicionada por reacciones bioquímicas, ubicadas tanto en su espesor como en la intimidad de los órganos mito-

condriales, localizados en el seno del protoplasma que circunscribe.

Su estructura es el resultado de la interacción fisicoquímica de fosfolípidos y proteínas, formándose un armazón lipoproteico. Los fosfolípidos o fosfátidos son triglicéridos con la característica de que uno de sus tres grupos ácidos es ácido fosfórico. Sus moléculas son alargadas y presentan dos partes distintas, un grupo polar hidrófilo y una cadena lípida hidrófoba; así, en presencia del agua, el polo hidrófilo contactará con ella, quedando libre el polo hidrófobo, de este modo los fosfátidos forman capas monomoleculares en la superficie del agua. Fig. No. 1.

En el caso de la membrana celular, las cosas se complican un poco más, ya que es

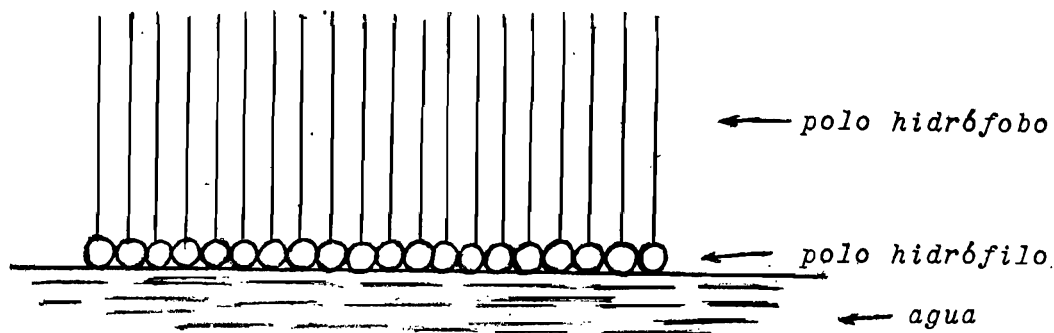


FIG. N° 1.—Las moléculas de los fosfolípidos son alargadas, presentan un polo hidrófilo y un polo hidrófobo; así, en presencia del agua, el polo hidrófilo contactará con ella y el polo hidrófobo quedará libre.

Trabajo de ingreso como Socio Activo del Dr. Flores Rivero. Presentado en la Sesión Ordinaria de la Sociedad Mexicana de Anestesiología, A. C. el día 7 de julio de 1969.

un estrato polimolecular y sobre la primera capa fosfática se instala otra, contactando ambas por los extremos de sus cadenas lípidas. Fig. No. 2.

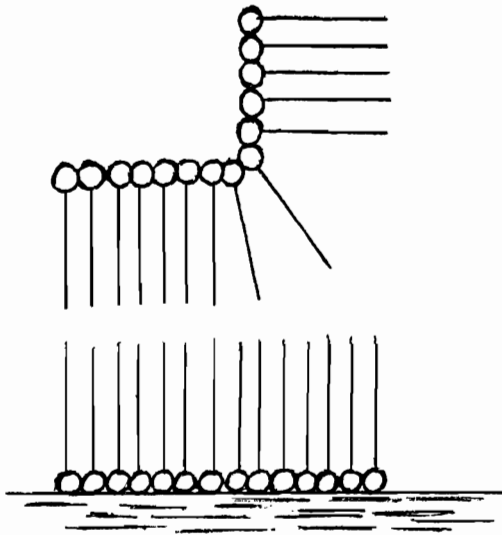


FIG. N° 2.—La membrana celular es complicada y sobre la primera capa fosfática se instala otra, contactando ambas por los extremos de sus cadenas lípidas.

Más tarde, sobre los polos hidrófilos de los fosfolípidos se engarzan las moléculas de proteína, Fig. No. 3; formándose una cubierta que presentará soluciones de continuidad que van de una a otra de sus superficies, estos son los poros de la membrana celular cuyo diámetro se ha calculado entre 3 y 7  $\text{A}^\circ$  y ocupan el 1% del total de la superficie de la membrana.

Los intercambios entre uno y otro lado de la membrana celular pueden llevarse a efecto de distintos modos, pudiendo ser estos: paso directo cuando las sustancias en cuestión son solubles en la matriz lipoproteica de la membrana. Pinocitosis, siendo este un mecanismo por medio del cual la membrana incluye en su espesor a las partículas próximas a sus superficies en forma parecida al fenómeno de la fagocitosis. Transporte, a través de los poros; aquí, el que una molécula o un ión atraviesen, depende del tamaño de la primera o del diámetro de la hidrósfera del segun-

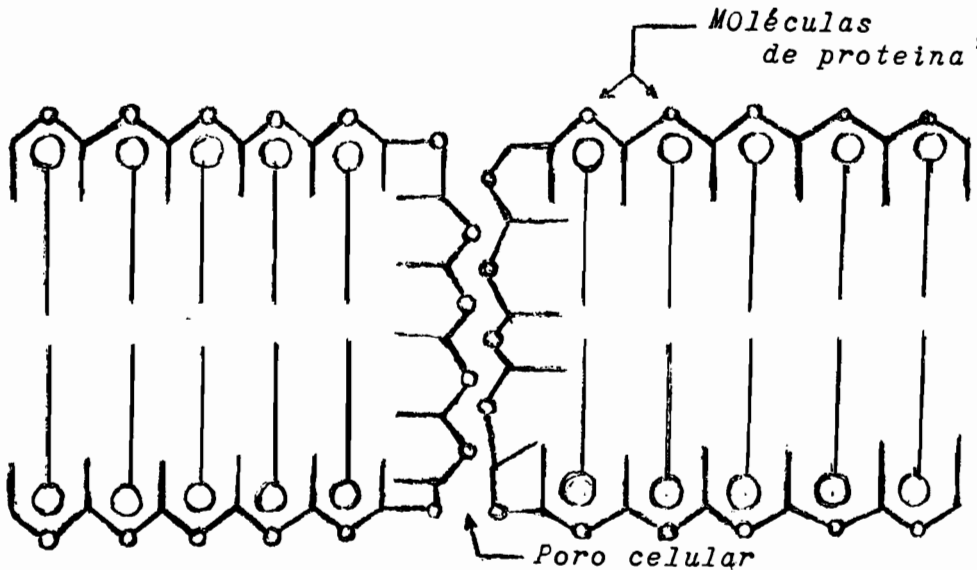


FIG. N° 3.—Sobre los polos hidrófilos de los fosfolípidos, se engarzan las moléculas de proteína, formándose una cubierta que presentará soluciones de continuidad que van de una a otra de sus superficies. Estos son los poros de la membrana celular, con diámetro de 3 a 7  $\text{A}^\circ$  ocupando el 1% del total de la superficie de la membrana.

do, en el caso de los iones tenemos que el ión potasio tiene de 2.2 a 4  $\text{A}^\circ$  de diámetro hidrosférico, mientras que el de sodio es de 3.4 a 5  $\text{A}^\circ$ ; en estas circunstancias el potasio posee mayor facilidad de paso. Fig. No. 4.

Hay que tener en cuenta que los iones no son estáticos, sino que presentan movimientos en todas direcciones, aumentando con el incremento de temperatura y disminuyendo cuando ésta descende. Para que determinadas partículas iónicas puedan penetrar en un momento dado, se re-

quiere que sus trayectorias sean paralelas al eje mayor del poro que tengan más cerca, de lo contrario, chocarán en la entrada sin llegar a penetrar. Fig. No. 5.

Todos estos sistemas de transporte tienen como única fuente para su producción, gradientes de concentración transmembránicos. No así el transporte activo, el que, mediante consumo de energía puede llevar cargas iónicas o bien moléculas, contra gradientes de concentración o intensidades de campo eléctrico. A continuación bosquejaré brevemente las reacciones bioquí-

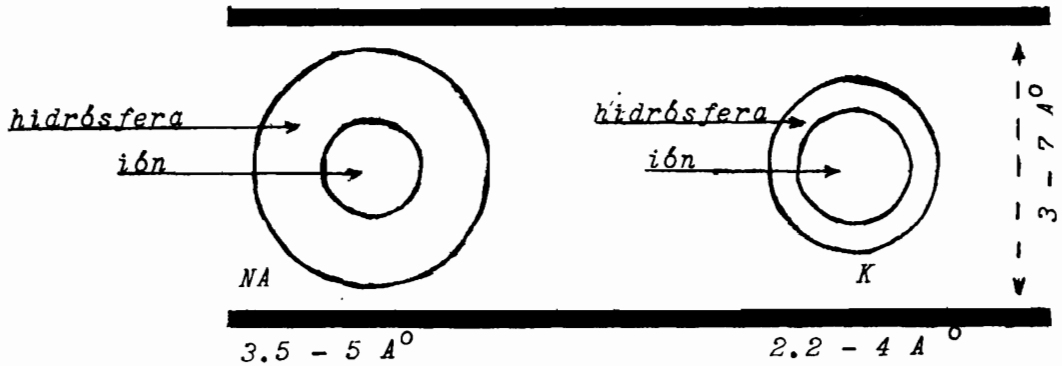


FIG. N° 4.—El que una molécula o un ión atraviesen un poro, depende del tamaño de la primera y del diámetro de la hidrosfera del segundo, en el caso de los iones tenemos que el ión potasio tiene de 2.2 a 4  $\text{A}^\circ$  de diámetro hidrosférico, mientras que el del sodio es de 3.4 a 5  $\text{A}^\circ$ ; en estas circunstancias, el potasio posee mayor facilidad de paso.

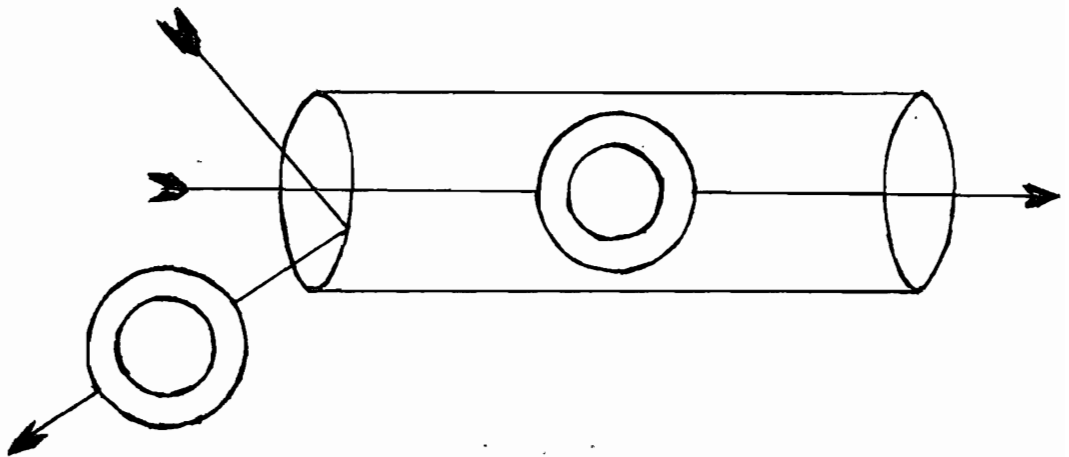


FIG. N° 5.—Para que determinadas partículas iónicas puedan penetrar en un momento dado, se requiere que sus trayectorias sean paralelas al eje mayor del poro que tengan más cerca, de lo contrario, chocarán en la entrada sin llegar a penetrar.

micas que se supone rigen el transporte activo. Fig. No. 6.

El metabolismo celular produce compuestos de alta energía; adenosintrifosfato (ATP) y adenosín difosfato (ADP); este último fija iones fósforo transformándose en (ATP); el diglicérido, presente en la membrana celular, capta fósforo a partir del ATP e iones hidrógeno (H), todo esto

es catalizado por una enzima quinasa ubi- cada cerca de la superficie celular interna, de este modo se transforma en diglicero- fosfato, el que cambiará sus dos hidróge- nos por dos sodios, los que para entrar a la reacción pierden primero sus hidróscfe- ras, formándose así diglicerofosfato disó- dico, soluble en la matriz lipoproteica de la membrana.

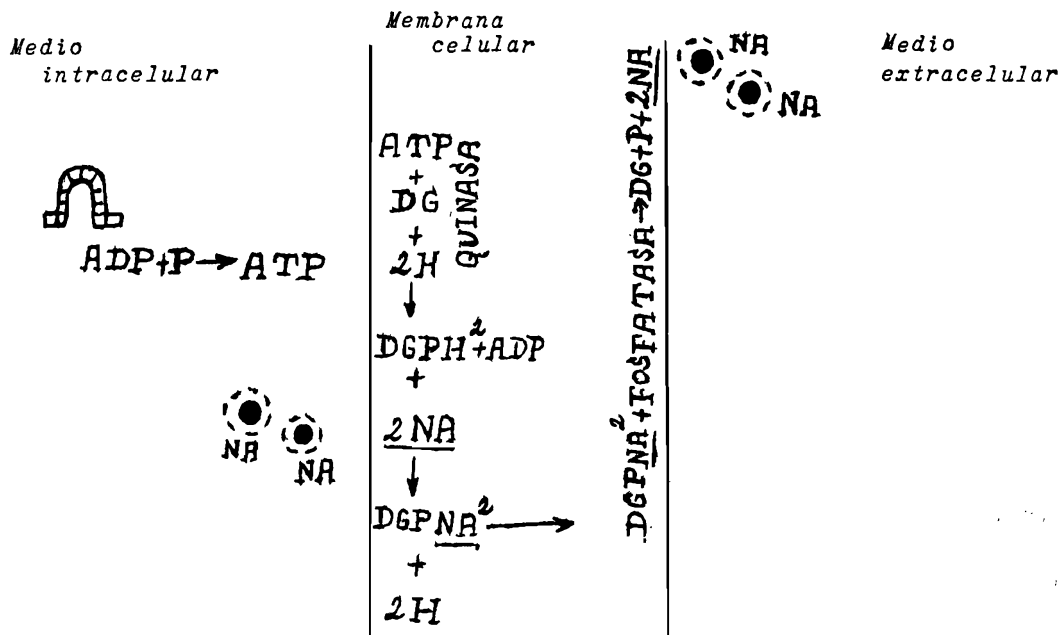


FIGURA 6.

Alcanzando este compuesto la superficie externa, pierde fósforo y sodio en una reacción catalizada por una enzima fosfatasa; los iones de sodio repelidos al líquido extracelular se hidratan nuevamente y el tamaño de sus hidróscferas impide que retornen atravesando los poros membránicos.

Este mecanismo llamado transporte activo o bomba iónica de sodio, se encuentra en gran variedad de tejidos; en las células nerviosas, en la nefrona, en las glándulas salivales, en las sudoríparas (tubos excretores de las mismas); en las células mio-

cárdicas, en los sistemas de absorción del tubo digestivo, etc. Es sensible a los inhibidores metabólicos como el dinitrofenol, a la disminución en la concentración de glucosa, a las alteraciones en la concentración de potasio; descenso de temperatura, baja presión parcial de oxígeno, y a ciertas hormonas como la aldosterona, que cataliza las reacciones de las bombas iónicas en las células tubulares de la nefrona.

Así entendida la membrana celular, presenta una diferencia de potencial eléctrico

llamado potencial de reposo, potencial de demarcación o potencial transmembránico, y cuyo valor según las especies celulares varía de 60 a 90 milivoltios, y está producido por la diferencia de concentración iónica intra y extracelular.

El Cuadro No. 1 está dividido en tres secciones y cada una en dos compartimien-

tos, que representan los espacios intra y extracelular; en la primera sección tenemos una distribución iónica al azar, la que irá cambiando merced a la permeabilidad de la membrana que separa sus dos compartimientos y a la marcha progresiva de los iones difusibles entre uno y otro lado de ella.

| Equilibrio iónico<br>al azar.              |  | Equilibrio Gibbs-Donnan  |   | Equilibrio metabólico<br>(potencial transmembránico)           |  |
|--|--|--|---|--|--|
| EXT. 1 <sup>o</sup>                        | INT. 2 <sup>o</sup>                    | EXT. 3 <sup>o</sup>  | INT. 4 <sup>o</sup>   | EXT. 5 <sup>o</sup>  | INT. 6 <sup>o</sup>  |
| CL <sup>-</sup> 156<br>NA <sup>+</sup> 156 | 156A <sup>-</sup><br>156K <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> 52<br>CL <sup>-</sup> 104<br>NA <sup>+</sup> 52 | 156A <sup>-</sup><br>104K <sup>+</sup><br>52CL <sup>-</sup><br>104NA <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> 5<br>CL <sup>-</sup> 151<br>NA <sup>+</sup> 149 | 156A <sup>-</sup><br>151K <sup>+</sup><br>5CL <sup>-</sup><br>7NA <sup>+</sup> |
| 156 <sup>+</sup> /156 <sup>-</sup>         | 156 <sup>+</sup> /156 <sup>-</sup>     | 104 <sup>+</sup> /104 <sup>-</sup>                             | 208 <sup>+</sup> /208 <sup>-</sup>  | +3   | -3   |

CUADRO 1.—(Tomado de *fisicoquímica Fisiológica*, Jiménez V. y Macarrulla). Esquema modificado.

Los primeros iones que emigrarán de su lugar primitivo, serán los de potasio por lo pequeño del diámetro de sus hidrósferas; al avanzar movidos por la fuerza de su gradiente de concentración, crearán un campo eléctrico debido a las cargas aniónicas de proteína que no pueden atravesar la membrana. La intensidad de este campo eléctrico irá aumentando paulatinamente, conforme las cargas potásicas progresen en su marcha, hasta que se llegue a una posición de equilibrio entre el gradiente de concentración y la intensidad del campo eléctrico.

La presencia de las cargas positivas del potasio en el compartimiento exterior, ejercerán fuerte repulsión sobre las cargas de igual signo de los iones de sodio y estos atravesarán la membrana a pesar del tamaño de sus hidrósferas bajo la acción de tres fuerzas, a saber: el gradiente de concentración del sodio, la repulsión que sobre ellos ejercen las cargas potásicas y la atra-

cción de las cargas eléctricas negativas de las proteínas que no atraviesan la membrana y que quedaron sin equilibrar al emigrar los iones potasio.

Al penetrar al compartimiento interior, los iones sodio, crean su campo eléctrico y no sólo tienden a neutralizar la negatividad interna, sino que atraen algunas cargas negativas representadas por los iones cloro. De este modo se llega a un punto de equilibrio entre uno y otro lado (ver sec. No. 2); éste es el llamado equilibrio de membrana o equilibrio de Gibbs-Donnan, que dice: el producto obtenido al multiplicar el número de aniones y cationes difusibles de un lado de la membrana, es igual al producto obtenido al multiplicar el número de aniones y cationes difusibles del lado opuesto.

En el caso de las membranas celulares vivientes, esto no termina aquí, pues tenemos que aceptar que dada la gran tendencia hidrofílica de los iones de sodio, habría

en el interior de la célula una cantidad de agua muy por encima de los requerimientos normales, si la concentración sódica interna fuera como la que se tiene en el simple equilibrio de Gibbs-Donnan. Esto no sucede pues entra en juego el mecanismo de la bomba iónica de sodio, que extrae, valga la expresión, casi todo el sodio intracelular, contra gradiente de concentración e intensidad de campo eléctrico.

Al trabajar la bomba de sodio, partiendo del previo equilibrio de membrana, éste se rompe; el sodio, al atravesar de dentro a fuera la membrana crea su propio campo

eléctrico y arrastra iones de cloro de carga opuesta, esto hace que el interior de la célula se haga negativo y para tratar de equilibrarlo desde el punto de vista eléctrico se llevan al interior celular cargas potásicas; sin embargo, tal situación de equilibrio nunca se llega a alcanzar, pues la bomba trabaja ininterrumpidamente y además, el gradiente de concentración para el potasio en el interior se hace muy grande, tal cual puede calcularse en la membrana celular normalmente polarizada y en reposo.

## REFERENCIAS

- 1.—CARLOS MARTÍN DEL CAMPO ROSAS, M. C.—*Anestesia por Bloqueo de Conducción en Cirugía de Miembros Torácicos*.—Boletín Médico del Instituto Mexicano del Seguro Social. Junio de 1966. Vol. VIII. Núm. 5. Pág. 126.
- 2.—V. J. COLLINS.—*Anestesiología*.—Edición en español. 1968. Editorial Interamericana, S. A. Págs. 671-673.
- 3.—HAROLD EKLEINERT, M.D., KENNETH DESIMONE, M.D., HAROLD E. GASPAR, M.D. ET AL.—*Regional Anesthesia for Upper Extremity Surgery*.—The Journal of Trauma, Vol. 3, No. 1, January 1963. pp. 4-11.
- 4.—ADRIANI Y BURNHAM.—Citados por V. J. Collins, pág. 672. Op. Cit.
- 5.—DEJOUNG.—*Infiltración perivascular del Plexo Braquial*.—1962. Cit. por V. J. Collins. Op. Cit.
- 6.—*Comunicación personal de MANUEL YÁÑEZ PE-*  
*RICHARD Y JOEL SORIA ASCENCIO, M.C.*  
1962. Librería de Medicina, México, D. F.
- 7.—WEST & TODD.—*Textbook of Biochemistry*.—Chapters 5 y 6. Third Edition. 1961. The Macmillan Company, New York.
- 8.—JIMÉNEZ VARGAS Y MACARULLA.—*Fisicoquímica Fisiológica*.—Capítulos 7, 10 y 11. Segunda Edición. 1964. Editorial Interamericana.
- 9.—ERIC E. CONN, P. K. STUMPF.—*Bioquímica Fundamental*.—Capítulo 3. Primera Edición, 1965. Editorial Limusa-Wiley, S. A.
- 10.—JOHN H. BLAND.—*Metabolismo del Agua y los Electrolitos en Clínica*.—Capítulo 2. Primera edición, 1965. Editorial Interamericana.
- 11.—P. KARLSON.—*Manual de Bioquímica*.—Capítulo 13. Tercera Edición, 1962. Editorial Marín, S. A.
- 12.—ROBERT F. PITTS.—*Physiology of the Kidney and Body Fluids*.—Chapters 2 y 4. Year Book Medical Publishers Incorporated, 1963.