

# Capítulo 2

## PARTE 4/4

### EL POTENCIAL DE MEMBRANA Y LA ECUACION DE GOLDMAN

De acuerdo a lo visto en este capítulo es posible afirmar que la diferencia de potencial eléctrico ( $V_m$ ) que se registra entre el lado interno ( $i$ ) y el externo ( $o$ ) de una célula es debido, en su mayor parte, a un potencial de difusión. Una parte más pequeña de este potencial corresponde a las bombas electrogénicas presentes en algunas células. Aunque esto es algo más difícil de entender, también se puede decir que el potencial de membrana se acercará a al potencial de equilibrio del ion más permeable. Veamos: el  $\text{Na}^+$  tiende a entrar por gradiente eléctrico y por gradiente químico, pero su potencial electroquímico de equilibrio es de +66 mV, un valor que está muy lejos del potencial de membrana de -90 mV; el  $\text{K}^+$  tiende a salir por químico y a entrar por eléctrico y su potencial electroquímico de equilibrio es de -98,8 mV, un valor muy cercano al potencial de membrana. Por último, el  $\text{Cl}^-$  tiende a entrar por químico y salir por eléctrico y su potencial electroquímico de equilibrio es igual al potencial de membrana: -90 mV.

Al no estar en equilibrio el  $\text{Na}^+$ , un aumento de la permeabilidad de la membrana a este ion haría que el  $V_m$  se acercara al  $V_{\text{Na}^+}$  de +66 mV mientras que un aumento de la permeabilidad al  $\text{K}^+$ , que tampoco está en equilibrio, haría que el  $V_m$  se acercara al  $V_{\text{K}^+}$  de -98,8 mV. Para el  $\text{Cl}^-$ , un aumento de la permeabilidad no cambiaría el  $V_m$  porque el  $\text{Cl}^-$  está en equilibrio electroquímico. Para calcular el potencial de membrana habrá, entonces, que tener en cuenta TODOS los iones presentes, tanto en cuanto a su concentración intra y extracelular como su permeabilidad. Esto queda expresado en la ECUACION DE GOLDMAN:

INDICE Parte 4	Pág
EL POTENCIAL DE MEMBRANA Y LA ECUACION DE GOLDMAN	1
Problema 1	2
Problema 2	5
Problema 3	8
Problema 4	9
Discusión	10
Lecturas recomendadas	13

$$V_m = 61 \text{ mV} \cdot \log \frac{(P_{\text{Na}^+} \cdot \text{Na}^+)_i + (P_{\text{K}^+} \cdot \text{K}^+)_i + (P_{\text{Cl}^-} \cdot \text{Cl}^-)_o}{(P_{\text{Na}^+} \cdot \text{Na}^+)_o + (P_{\text{K}^+} \cdot \text{K}^+)_o + (P_{\text{Cl}^-} \cdot \text{Cl}^-)_i}$$

donde P es la permeabilidad. Si se supone, por ejemplo, que la permeabilidad al  $K^+$  es mucho mayor que la de  $Na^+$  y la de  $Cl^-$ , la ecuación podrá quedar reducida a:

$$V_m = 61 \text{ mV} \cdot \log \frac{K^+_i}{K^+_o}$$

que es la ecuación de Nernst que describimos antes. Así, un potencial de acción en una célula nerviosa o muscular ( ver Tomo 2, Cap 10) se debe a que, frente a estímulo, se abre muy rápidamente un canal para el  $Na^+$  y el  $V_m$  se acerca al  $V_{Na^+}$ .

## PREGUNTAS Y PROBLEMAS

### PROBLEMA 1

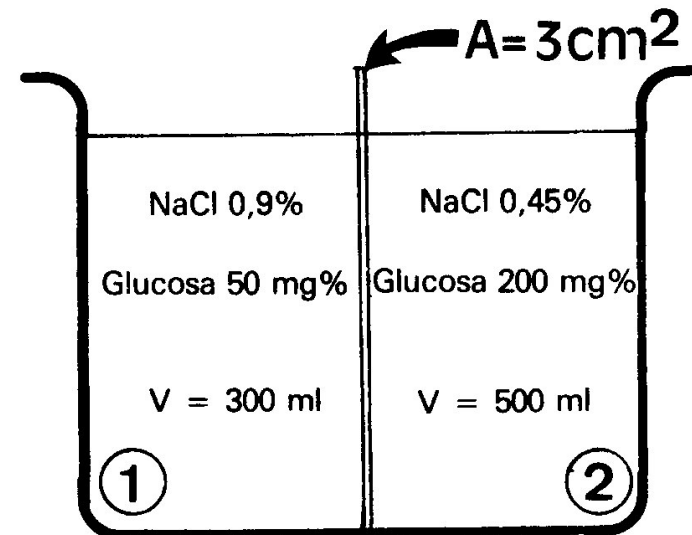
- Determinar los valores de un flujo difusional.
- Calcular la concentración de equilibrio que se alcanza por flujo difusional entre dos compartimientos.

La DIFUSION es, básicamente, un proceso de mezcla en el que suficiente, los gradientes de concentración desaparecen. Mientras que los flujos difusionales son proporcionales a los parámetros indicados en la Ley de Fick.

**1A** En un recipiente, como el que se muestra en la figura, características similares a las de una membrana celular. Los volúmenes y las soluciones a cada lado son las indicadas en la misma figura.

En base a estos datos y usando los valores de permeabilidad de la Tabla 2.II, calcule:

- a) El valor, en micromol/ segundo, del flujo neto INICIAL de  $Na^+$ .



- b) El valor, en micromol/ segundo, del flujo neto inicial de glucosa.
- c) La concentración de equilibrio del Na<sup>+</sup>.
- d) La concentración de equilibrio del Cl<sup>-</sup>.
- e) La concentración de equilibrio de la glucosa.
- f) El valor, en micromol/ segundo, del flujo unidireccional de Na<sup>+</sup> en el equilibrio.

**Respuestas:** El primer paso debe ser transformar las concentraciones en una expresión común: micromoles/ cm<sup>3</sup>. No volveremos sobre esto, ya estudiado en el Cap.1. Simplemente:

	Compartimiento 1	Compartimiento 2
Na <sup>+</sup>	154 μmol/ cm <sup>3</sup>	77 μmol/ cm <sup>3</sup>
Glucosa	2,78 μmol/ cm <sup>3</sup>	11,1 μmol/cm <sup>3</sup>

**Verifique estos valores. Si tiene dificultades, vuelva al Cap. 1)**

- a) El FLUJO NETO de Na<sup>+</sup> se calcula de acuerdo a Fick como:

$$J_{\text{neto}} = P_{\text{Na}^+} \cdot A \cdot C_1 - C_2$$

$$J_{\text{neto}} = 2,7 \cdot 10^{-10} \text{ cm/s} \cdot 3 \text{ cm}^2 \cdot (154 - 77 \text{ μmol/cm}^3)$$

$$J_{\text{neto}} = 6,2 \cdot 10^{-8} \text{ μmol/s}$$

- b) EL FLUJO NETO de glucosa se calcula como:

$$J_{\text{neto}} = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ cm/s} \cdot 3 \text{ cm}^2 \cdot (2,78 - 11,1 \text{ μmol/cm}^3)$$

$$J_{\text{neto}} = 3,7 \cdot 10^{-5} \text{ μmol/s}$$

**COMENTARIO:** se puede ver que el flujo neto inicial de glucosa es casi 2000 veces mayor que el flujo de Na<sup>+</sup>.

c) La concentración de equilibrio del Na<sup>+</sup> resulta de MEZCLAR los dos volúmenes de solución. De ese modo:

$$\text{MASA Na}^+ = (V_1 \cdot C_1) + (V_2 \cdot C_2)$$

$$\text{MASA Na}^+ = (0,3 \text{ L} \cdot 154 \text{ mmol/ L}) + (0,5 \cdot 77 \text{ mmol/ L})$$

$$\text{MASA Na}^+ = 84,7 \text{ mmol}$$

y como el VOLUMEN TOTAL es de 0,8 L:

$$\text{Conc. Na}^+_{\text{eq}} = \frac{84,7}{0,8 \text{ L}} = 105,8 \text{ mmol/ L} = 105,8 \text{ mEq/ L}$$

d) La concentración de equilibrio del Cl<sup>-</sup> ES igual a la del Na<sup>+</sup> y no hace falta calcularla.

$$\text{Conc. Cl}^-_{\text{eq}} = 105,8 \text{ mmol/L} = 105,8 \text{ mEq/L}$$

e) La concentración de equilibrio de la glucosa se calcula del mismo modo.

$$\text{MASA gluc} = (2,78 \text{ mmol/ L} \cdot 0,3 \text{ L}) + (11,1 \text{ mmol/ L} \cdot 0,5 \text{ L})$$

$$\text{MASA gluc} = 6,384 \text{ mmol}$$

y la concentración de equilibrio:

$$\text{Con. gluc}_{\text{eq}} = \frac{6,384 \text{ mmol}}{0,8 \text{ L}} = 7,98 \text{ mmol/L}$$

f) Un vez que se llega a la concentración de equilibrio, el flujo unidireccional de Na<sup>+</sup>, de Cl<sup>-</sup> y glucosa de 1 a 2 será igual flujo de 2 a 1. Para el caso del Na<sup>+</sup> se calcula como:

$$J_{12} = J_{21} = P_{\text{Na}^+} \cdot A \cdot C_1$$

$$J_{12} = J_{21} = 2,7 \cdot 10^{-10} \cdot 3 \cdot 105,8 = 8,5 \cdot 10^{-8} \mu\text{mol/s}$$

**COMENTARIO:** Nótese que el **flujo unidireccional en equilibrio** es algo mayor que el **flujo neto inicial**. Esto no debe llamar la atención ya que el flujo neto es la resta de los dos flujos unidireccionales. Así, el flujo unidireccional inicial de 1 hacia 2 es mayor el flujo unidireccional de 2 hacia 1 y con el tiempo, va disminuyendo y haciéndose igual al 2-1.

Para entender más claramente esto, resuelva la parte B de este problema.

**1B** Usando los datos del problema anterior, calcule:

- a) El flujo unidireccional INICIAL de  $\text{Na}^+$  de 1 hacia 2.
- b) El flujo unidireccional INICIAL de  $\text{Na}^+$  de 2 hacia 1.
- c) Compruebe si la resta de los flujos unidireccionales coincide con el flujo neto inicial de  $\text{Na}^+$  calculado en la parte a) del problema 1 A.

**Respuestas:**

- a)  $1,25 \cdot 10^{-7} \mu\text{mol/s}$
- b)  $6,24 \cdot 10^{-8} \mu\text{mol/s}$
- c) Si

**COMENTARIO:** se comprueba, para el  $\text{Na}^+$ , lo señalado en la parte final del problema 1. Verifíquelo para el  $\text{Cl}^-$  y la glucosa.

## PROBLEMA 2

Objetivo: - Determinar el valor del coeficiente de permabilidad osmótica en una preparación biológica.

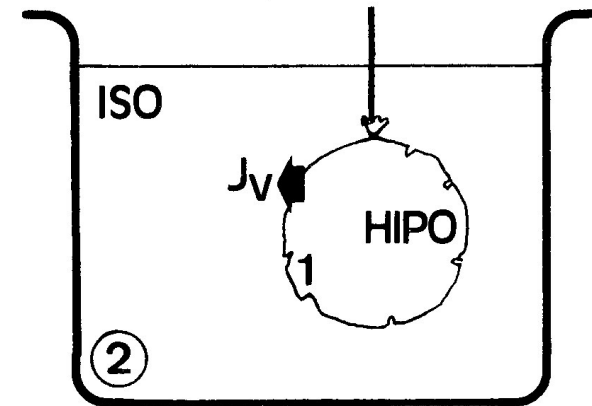
- Analizar la acción de agentes modificadores de la permeabilidad al agua.

Si se examina nuevamente el dibujo que acompaña al Problema 1 se observará que, aparte de los gradientes de entrada de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y glucosa, hay un importante gradiente de concentración de agua: la osmolaridad del recipiente 1 es mayor que la del recipiente 2 y el agua tenderá a moverse de 2 hacia 1. En esas condiciones, la

concentración de  $\text{Na}^+$  en 1, por ejemplo, disminuirá en el tiempo no sólo por el pasaje del ion hacia 2 sino también por la entrada de agua. En situaciones experimentales controladas, como la de estos experimentos con recipientes de vidrio, lo habitual es diseñar el experimento de modo que haya gradiente de concentración del soluto que se quiere estudiar, pero no haya gradiente de agua. Esto se logra agregando, en este caso en lado 2, un soluto no difusible (manitol, por ejemplo) hasta que la osmolaridad sea la misma a ambos lados. Otra manera es haciendo que la concentración total de las sustancias sea la misma a ambos lados. En ausencia de gradientes, se agrega, EN UNO DE LOS LADOS, una muy pequeña cantidad  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  o glucosa pero **RADIATIVOS**. El flujo UNIDIRECCIONAL del isótopo podrá ser fácilmente seguido sin que se haya introducido un gradiente de osmolaridad.

El FLUJO NETO DE AGUA POR GRADIENTE OSMOTICO es más fácil medir y será muy claramente entendido si se sigue el experimento siguiente, en el que se usa la vejiga urinaria del sapo.

**2A** El sapo tiene un sistema renal que no es capaz de formar orinas con una osmolaridad mayor a la de su plasma. En esas condiciones, no puede "AHORRAR" agua, como lo hace el hombre cuando no tiene agua para beber y produce orinas concentradas. Sin embargo, el sapo puede almacenar orina en su vejiga cuando está en un ambiente húmedo y transferirla desde allí al medio interno cuando está en un ambiente seco. Esta transferencia de agua se hace a favor de un gradiente de osmolaridad, donde el medio interno es hiperosmolar con respecto al contenido de la vejiga y está bajo el control de una hormona, la HORMONA ANTIDIURETICA (ADH). Este sistema puede ser utilizado en el laboratorio: para ello se diseña y aísla la vejiga del sapo, se la llena con una solución hipo-osmótica y se la sumerge en un vaso de precipitado que tenga una solución iso-osmótica.



Se establecerá un flujo de agua de dentro hacia afuera que será propo

$$J_v = P_{osm} \cdot A \cdot (Osm_1 - Osm_2)$$

Si, a intervalos regulares, se saca la vejiga del líquido y se la pesa en una balanza apropiada, se verá que ésta, por la salida del agua, pierde peso. Como  $1 \text{ g} = 1 \text{ cm}^3$ , el cálculo de  $J_v$  es sencillo. El siguiente gráfico muestra la evolución del peso de la vejiga aislada en un experimento típico. Se puede ver que al agregarse la ADH hay un brusco cambio de la pendiente, indicando un aumento de la permeabilidad al agua.

Para calcular el **P<sub>osm</sub>** que la vejiga tenía ANTES del agregado de la hormona disponemos de los siguientes datos:

$Osm_1$  (interior) = 26 mOsm/L

Osm<sub>2</sub> (exterior) = 260 mosm/L

$\Delta$  Osm = 234 mOsm/L

$\Delta$  Osm =  $0,234 \cdot 10^{-3}$  Osm/cm<sup>3</sup>

Area = 12 cm<sup>2</sup>

Pérdida de peso = 0,036 g en 40 min.  
(este dato se calculó a partir del gráfico)

En consecuencia, el  $J_V$  es de

$$J_V = 0,036 \text{ cm}^3 / 2400 \text{ s}$$

$$J_V = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^3 / \text{s}$$

Y el coeficiente de permeabilidad osmótica es de:

$$P_{\text{osm}} = \frac{J_V}{A \cdot \Delta \text{Osm}}$$

$$P_{\text{osm}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^3 / \text{s}}{12 \text{ cm}^2 \cdot 0,234 \cdot 10^{-3} \text{ Osm/cm}^3}$$

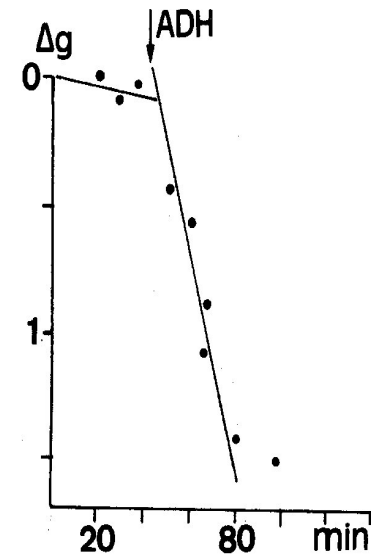
$$P_{\text{osm}} = 0,0053 \text{ cm}^4 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Osm}^{-1}$$

Este mismo coeficiente se puede expresar del siguiente modo:

$$\Pi = R \cdot T \cdot \Delta \text{Osm}$$

$$\Pi = (0,082 \text{ L} \cdot \text{atm} / \text{Osm} \cdot ^\circ\text{K}) \cdot 293 \text{ } ^\circ\text{K} \cdot 0,234 \text{ Osm} / \text{L}$$

$$\Pi = 5,62 \text{ atm}$$



$$P_{\text{osm}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-5} \text{ cm/ s}}{12 \text{ cm}^2 \cdot 5,62 \text{ atm}}$$

$$P_{\text{osm}} = 2,22 \cdot 10^{-7} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$$

**2B** Ahora usted calcule el  $P_{\text{osm}}$  de este vejiga después del agregado de la hormona. Los datos del gradiente osmótico y el área son los mismos que en el caso anterior. La variación de peso obténgalo de la gráfica.

**Resultados:**  $P_{\text{osm}} = 0,316 \text{ cm}^4 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Osm}^{-1}$   
 $P_{\text{osm}} = 1,30 \cdot 10^{-5} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$   
 $P_{\text{osm}} = 0,017 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$

**COMENTARIOS:** la ADH actúa aumentando el coeficiente de permeabilidad osmótico, lo que determina que, aun cuando el gradiente sea el mismo, el flujo de agua sea mucho mayor. De ese modo, el sapo podrá transferir agua desde el interior de la vejiga al espacio extracelular, a FAVOR DE UN GRADIENTE OSMOTICO. En ausencia ADH, pese a la existencia del gradiente osmótico, el flujo de agua era bajo y el agua quedaba "guardada" en la vejiga.

### PROBLEMA 3

Objetivo: - Aprender a reconocer las condiciones en las que un potencial eléctrico es un potencial de difusión.

Los potenciales de difusión son debidos a la presencia de un gradiente de concentración, que determina el flujo de iones, y a la existencia de una permeabilidad diferente para aniones y cationes. A continuación se dará un ejemplo experimental y una serie de posibles respuestas. Analizaremos cada una de ellas, para quedarnos con la o las más posibles.

Una membrana separa 2 soluciones de NaCl: la que está en el compartimiento 1 tiene 15 mmol/ L y la que está en 2 tiene 150 mmol/L. Se ha agregado sacarosa en 1 de modo de hacer iguales las dos osmolaridades. Con un voltímetro se observa que el lado 2 tiene un potencial positivo con respecto al lado 1 . Esta situación puede ser debida a:

a) La permeabilidad al  $\text{Na}^+$  en la membrana es mayor que la permeabilidad al  $\text{Cl}^-$ .



- b) Hay un gradiente de concentración para el  $\text{Na}^+$  .
- e) Existe un transporte activo de  $\text{NaCl}$  de 1 hacia 2.
- d) Existe un gradiente de concentración para el  $\text{Cl}^-$  .
- e) La permeabilidad al  $\text{Cl}^-$  es mayor que la permeabilidad al  $\text{Na}^+$ .
  
- f) Hay una bomba que mueve  $\text{Na}^+$  de 1 hacia 2.
- g) Hay una bomba que mueve  $\text{Cl}^-$  de 2 hacia 1 .

**Respuestas:**

- a) Esto no justifica el potencial (+) en 2, ya que el gradiente es de 2 hacia 1 .
- b) El gradiente es cierto, pero tiene que haber otra condición para que aparezca el potencial, por ejemplo, una permeabilidad diferente para sodio y cloruro,
- c) Si hubiera un transporte de  $\text{NaCl}$  como tal, como molécula neutra, no habría aparecido el potencial. Este transporte determinaría el potencial sólo si se estuviera moviendo más rápidamente el  $\text{Na}^+$  que el  $\text{Cl}^-$  .
- d) Nuevamente, como en b), el gradiente de  $\text{Cl}^-$  es cierto, pero de por sí no determinará un potencial: debe haber una permeabilidad diferente.
- e) Es una condición que, sin ningún otro agregado, sí puede justificar el potencial: el  $\text{NaCl}$  se mueve de 2 hacia 1 a favor del gradiente de concentración y como la permeabilidad del  $\text{Cl}^-$  es mayor que la del  $\text{Na}^+$ , se crea una diferencia de potencial con el signo (+) en 1.
- f) Es posible que el signo del potencial sea debido a esta bomba, pero para afirmarlo se debe investigar la dependencia metabólica del potencial eléctrico.
- g) También es posible, pero para afirmarlo, como en f), hay que realizar otras pruebas.

**PROBLEMA 4**

- Objetivo: - Calcular el potencial eléctrico de equilibrio del  $\text{HCO}_3^-$
- Determinar si existe o no necesidad de postular la

existencia de un mecanismo activo para mantener las concentraciones.

Habiéndose explicado los casos del Na<sup>+</sup>, el K<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>, usted deber resolver sin problemas el caso del HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Use los datos de la Tabla 2.IV para las concentraciones extra e intracelulaares

- a) El potencial eléctrico de equilibrio del HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> es de ..... mV.
- b) Se necesita-no se necesita (subraye lo que corresponde) postular la existencia de una bomba para mantener las concentraciones.
- c) si hay una bomba, esta deber sacar-meter (subraye lo que corresponde) HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> de la celula.

**Respuestas:** a) -32.2 mV

b) se necesita, ya que el potencial medido (V<sub>m</sub>) es de -90 mV.

c) El potencial de la célula (-90 mV) excede al que se requiere para el equilibrio, por lo que el HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> tiende a SALIR: la bomba, para mantener las concentraciones, debe introducir HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la célula.

### DISCUSION

La siguiente historia puede servir, en especial para los estudiantes avanzados, para comprender mejor el significado y utilidad de la ecuación de Nernst con relación al potencial de membrana de una célula.

Un profesor de Fisiología se dirige a un grupo de estudiantes y les plantea del siguiente problema:

- Señores, acabo de medir. en una célula, un potencial intracelular de - 54 mV y quiero saber si el ion K<sup>+</sup> está, en esta célula, distribuido activa o pasivamente... díganme ustedes qué debo hacer. Un estudiante dice: - Hay que medir el K<sup>+</sup> intra y extracelular.. - Cierto, pero ¿qué valor ESPERARIA usted encontrar si la distribución fuera pasiva? Luego de un largo silencio, otro estudiante dice: - Aplicaría la fórmula. - Si, pero ¿cuál? Nuevo silencio hasta que alguien escribe en la pizarra:

$$\frac{K^+ 2}{K^+ 1} = e^{- (V_1 - V_2) zF/RT}$$

Muy emocionado ante esa demostración de conocimientos, el profesor pide que reemplacen por los valores habituales.

- a) El valor de  $z$  es de .....
- b) El valor de  $F$  es de .....
- c) El valor de  $R$  es de .....
- d) El valor de  $T$  (a  $37^\circ\text{C}$ ) es de .....

En esas condiciones, la relación  $K^{+2} / K^{+1}$  es:

e) .....

- Por lo tanto, si el animal de donde se tomó la célula tiene un  $K^{+}$  extracelular de  $4\text{ mEq/L}$ , debo esperar, dice el profesor, un  $K^{+}$  intracelular, **si el ion está en equilibrio**, de:

f) .....

Bueno, mediré el  $K^{+}$  y en la próxima clase seguiremos discutiendo. Si a alguno se le ocurre otra idea, que la presente entonces. Días después, al reanudarse la conversación, un estudiante dice: - A mí esa fórmula no me gusta, no la entiendo. Yo seguí con la ecuación de Nernst

$$V_{K^{+}} = 61 \cdot \log K_2 / K_1$$

e hice un gráfico de mV en función del logaritmo de  $K_2 / K_1$  y es este:

De acuerdo a él, la relación  $K_2 / K_1$  debe ser de:

g: .....

y con un  $K^{+}$  externo de  $4\text{ mEq/L}$ , hay que esperar una concentración intracelular de

h) .....

El profesor, muy entusiasmado, dice:

Eso es correcto! Es la relación que se debería esperar si la membrana celular se comportara como un electrodo de  $K^{+}$ . Ustedes no han usado electrodos de  $K^{+}$ , pero recuerden los electrodos de pH: son electrodos formados por un vidrio permeable al  $H^{+}$ . Cuando se sumergen en un medio con un cierto pH, su potencial cambia siguiendo una recta cuya

pendiente es de - 58 mV a 20 °C o de -61 mV a 37 °C. Ahora, continua, yo medí el K<sup>+</sup> intracelular y es de 150 mEq/L. Por lo tanto, ¿el K<sup>+</sup> esté en equilibrio?. La respuesta es :

i) ..... ya que .....

por lo tanto, se debe postular la existencia de una bomba que opere introduciendo - sacando (subraye lo que corresponde) K<sup>+</sup> de la célula.

### RESPUESTAS y COMENTARIOS SOBRE LA DISCUSION

a) 1

b) 96500 Coulomb/mol

c) 8,31 Joule/ mol °K

d) 310 °K

e)  $K^{+2} / K^{+1} = e^{- (0,054 V) 37,46 \text{ Coulomb/ Joule} = 0,13}$  y  $K^{+1} / K^{+2} = 7,69$  lo que indica que debe haber 7 VECES más K<sup>+</sup> en el interior celular que en el exterior, por lo que

f = 30,76 mEq/ L

La curva del estudiante debe entenderse así: 1) en el eje x la escala es logarítmica, por lo que la relación de las concentraciones es, en realidad, el logaritmo de las mismas. 2) Usó la relación  $K^{+1} / K^{+2}$  o  $K^{+2} / K^{+1}$  que le resultara más cómoda. En este caso usó la relación concentración mayor/ concentración menor. 3) los valores de voltaje los obtuvo de la ecuación de Nernst. Con esa curva, partiendo de - 54 mV en ordenadas obtuvo una relación de:

g) 8, que es bastante similar a la obtenida por la fórmula y con un K<sup>+</sup> externo de 4 mEq/L, es lógico que el K<sup>+</sup> interno sea de:

h) 32 mEq

Si se MIDE un K<sup>+</sup> interno de 150 mEq/l y un potencial de -54 mV, es evidente que

i) no puede estar en equilibrio, ya sólo alcanzaría para equilibrar una concentración intracelular de unos 30 mEq/L de K<sup>+</sup>. Por lo tanto persiste la tendencia del K<sup>+</sup> a SALIR de la célula y debe postularse una muy importante bomba que opere.

j) introduciendo K<sup>+</sup> en el interior celular, de modo de mantener la concentración constante.

## LECTURAS RECOMENDADAS

- **Bases fisiológicas de la Práctica Médica**  
J. B. West, 12ª edición (1993) Editorial Médica Panamericana, México
  - The kidney  
B. M. Brenner y F.C. Rector  
W. B. Saunders, Co. Filadelfia, 1976
- Un clásico:*
- **Introducción al estudio de las membranas biológicas**  
M. Cerejido y C.A. Rotunno  
Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1966

## FIN DEL CAPITULO 2

**Manual de Fisiología y Biofísica para estudiantes de medicina - R. Montoreano – Edición electrónica 2002**