

## ANALOGIA ENTRE LA BOMBA DE SODIO Y EL DEMONIO DE MAXWELL<sup>1</sup>

DR. DEMETRIO SODI-PALLARES<sup>2</sup>

EN LA ADQUISICIÓN del conocimiento hay disimetría entre la probabilidad de predicción y la de retrodicción. Ello significa que las probabilidades de los eventos subsiguientes pueden ser inferidas de las de los eventos anteriores; pero es excepcional que las probabilidades de los eventos anteriores puedan deducirse de las de los eventos subsiguientes. Esta realidad es la de un mundo físico con entropía siempre creciente. Así era como se expresaba con palabras "pesadas de sentido" el gran Willard Gibbs considerado por Norbert Wiener<sup>1</sup> como un genio superior Einstein y Plank.

Lo anterior es acorde con el concepto físico de aceptar las explicaciones de tipo causal (en donde la improbabilidad está en el punto de partida) y rechazar las explicaciones finalistas (e. i. donde la improbabilidad es mayor en el término de la serie sujeta a consideración).

Decurso y dirección del tiempo, entropía siempre creciente, principio de causalidad y probabilidad de predicción, son inter-relaciones que constituyen

parte importante del mundo físico de nuestros días. No pudimos escaparnos, como lo hizo el gran Norbert Wiener,<sup>2</sup> a la tentación de referir algunos de estos conceptos a la biología y en particular a las fibras miocárdicas.

En el mundo de la biología, desde el organismo más pequeño, el PPLO, hasta el hombre, con organización creciente en el sentido señalado, se conmueve el mundo de la física; en efecto, hay islas antientrópicas en las que el tiempo parece contraerse o apuntar en sentido contrario, en las que las probabilidades de retrodicción son mayores, en las que puede invocarse, como se ha hecho, una explicación finalista, y en las que la entropía decrece. Una de estas antientrópicas que puede no vestir todos los parámetros señalados es la "bomba de sodio".

En un trabajo anterior,<sup>3</sup> hemos dicho que la entropía en las células cardíacas podría representarse por el aumento de la relación  $Na_i/Na_e$ ; en efecto, la membrana celular permeable al sodio, separa una concentración alta, de 140 mEq., de sodio extracelular de una concentración baja, de alrededor de 14 mEq. del mismo ión en el medio intracelular. El constante movimiento de los iones de sodio nos permite predecir

<sup>1</sup> Trabajo presentado en la sesión ordinaria del 9 de agosto de 1967.

<sup>2</sup> Académico titular. Instituto Nacional de Cardiología.

acerca de las altas probabilidades que tiene el sodio para atravesar la membrana celular hasta que las concentraciones se igualen, al menos que un mecanismo antientrópico se oponga a ello.

Por otra parte, el interior celular mantiene durante la diástole un potencial negativo, por lo que una fuerza electrostática sobre el ión sodio cargado positivamente favorece la entrada del elemento, al menos que un mecanismo antientrópico se oponga a ello.

El tamaño de los poros de la membrana celular por donde pasan los iones de sodio, potasio y cloro, ha sido estimado<sup>4</sup> en 3.5 Å, mientras que el tamaño del sodio hidratado es de 2.56 Å. Más pequeños son los iones de cloro (1.93 Å) y de potasio (1.98 Å) y, sin embargo, estos dos últimos iones fueron descartados para representar la entropía, porque el efecto del potencial negativo intracelular se opone a las altas probabilidades que derivan de los movimientos iónicos para que se igualen las concentraciones. La fuerza electrostática rechaza al cloro del interior celular y atrae al potasio. Razones similares nos hicieron descartar a otros iones, como el magnesio, para representar la fuerza entrópica natural a nivel de las fibras del corazón. Por estar en desequilibrio electroquímico, fue elegido el sodio en esta extrapolación de la termodinámica a la medicina.

En todo momento, tanto durante la sístole como durante la diástole, hay una fuerza que impele al sodio a pasar al medio intracelular hasta que las diferencias físicas debidas a las diferentes

concentraciones al través de la membrana, desaparezcan. Este mecanismo entrópico, como cualesquiera otro del mundo material, conduce a la desorganización y a la muerte. Es la cuesta abajo que sigue la materia según la expresión de Bergson en su maravilloso libro "La Evolución Creadora".

Quizá, tratando de detener este determinismo fatalista, James Clerk Maxwell ideó un pequeño demonio que lleva el nombre del investigador de los campos eléctrico y magnético. Wiener<sup>1</sup> habla del "demonio de Maxwell" en los términos siguientes:

"Supongamos que tenemos un recipiente lleno de un gas cuya temperatura es uniforme (Fig. 1). Algunas

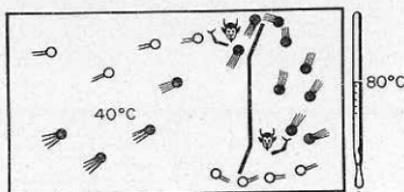


FIGURA 1.

moléculas se moverán con mayor velocidad que otras. Supongamos además que existe una puerta, por donde pasa el gas a una tubería que conduce a una máquina térmica; después de atravesar ésta, el gas vuelve al recipiente a través de otra puerta. En cada una de ellas, se encuentra un diminuto ser capaz de vigilar las moléculas que llegan y de abrir o cerrar el paso, según la velocidad que poseen.

"El demonio de la primera le abre sólo a las moléculas de alta velocidad

y la cierra a las que la tienen baja. El de la segunda hace exactamente lo contrario; la abre para las de baja y la cierra para las de alta velocidad. Así resulta que la temperatura aumenta en un extremo y desciende en el otro creando un movimiento continuo de "segunda clase", es decir, un movimiento continuo que no viola la primera ley de la termodinámica (según la cual, la cantidad de energía de un sistema dado es constante), pero que infringe la segunda (según la cual, la temperatura tiende espontáneamente a disminuir). En otras palabras, el demonio de Maxwell parece superar la tendencia de la entropía a aumentar".

El mismo Wiener sugiere<sup>2</sup> en su libro "Cybernetics" que en biología, el "demonio de Maxwell" puede estar representado por aquellas enzimas que favorecen mecanismos antientrópicos. En el caso de la bomba de sodio, la enzima sería la ATPasa; pero como ésta, ha sido identificada por algunos autores como la misma bomba de sodio o como parte muy importante de ella,<sup>5</sup> vimos cierta analogía entre el diablo citado y la bomba de referencia. Como en toda analogía hay términos unívocos y equívocos, por lo que ideamos el cuadro que sigue:

#### "Demonio de Maxwell"

**Términos unívocos** 1. Aumento en las diferencias de energía (velocidad de las moléculas) al través de la pared.  
2. Uso de una o varias comunicaciones o puertas.  
3. Información accesible por rayos de luz (ver más adelante).

**Términos equívocos** 1. Puertas rígidas e impenetrables.  
2. Puertas sin masa y sin frotamiento.  
3. No necesita energía para su acción.

#### Bomba de sodio

**Términos unívocos** 1. Aumento en las diferencias de concentración de sodio al través de la membrana.  
2. Uso de una o varias comunicaciones o poros de la membrana.  
3. Información accesible expresada en la fórmula de Conway (ver más adelante).

**Términos equívocos** 1. Poros de membrana permeables y sin rigidez.  
2. Poros con masa estructural y con frotamiento.  
3. Requiere energía metabólica.

Los términos equívocos asignados al "demonio de Maxwell" sugieren que no es posible tal diminuto ser dentro de una realidad física y como lo señala Costa de Beauregard<sup>6</sup> aparece más bien como un mito derivado del buen humor británico. Sin embargo, hay algo importante sobre lo que insiste Wiener y es lo relativo a la información: "En la física del siglo XIX parecía que no costaba nada conseguir información. De ahí resulta que no hay nada en la física de Maxwell que impida a su demonio obtener su propia energía. Por el contrario, la moderna reconoce que el demonio sólo puede informarse acerca de si debe abrir o cerrar la puerta mediante un órgano sensorial que, para este propósito, es un ojo. La luz que incide en el ojo del demonio no es un suplemento carente de energía del movimiento mecánico, sino que comparte las principales propiedades de este último. La luz

no puede ser recibida por ningún instrumento a menos que incida en él y tampoco puede indicar la posición de una partícula cualquiera si no cae sobre ella. Esto significa que ni siquiera desde el punto de vista puramente mecánico podemos considerar el recipiente como exclusivamente compuesto de gas, sino como gas y luz que pueden estar o no en equilibrio. Si ocurre lo primero puede demostrarse, de acuerdo a las teorías físicas actuales, que el demonio de Maxwell será tan ciego como si se encontrase en la obscuridad más absoluta. Tendríamos rayos de luz en todas direcciones, lo que no nos proporcionaría ninguna indicación acerca de la posición y la velocidad de cada partícula. En consecuencia, el demonio de Maxwell sólo podrá actuar en un sistema que no esté en equilibrio. Sin embargo, en ese caso, la colisión constante entre la luz y las partículas de gas tiende a colocar ambas en un estado de equilibrio. Así, pues, aunque el demonio puede invertir temporalmente la dirección de la entropía, a la larga también quedará agotado".

La información que recibe la bomba de sodio está expresada en la fórmula de Conway<sup>7</sup> en la que se habla de la recíproca de la bomba que es "la barrera energética para la excreción del sodio". Esta barrera fue sugerida por Conway<sup>7</sup> al encontrar importantes diferencias en la excreción de sodio cuando había pequeñas diferencias en la concentración del sodio extracelular. Así concibió la posibilidad de una barrera energética a la salida del elemento que expresó la fórmula siguiente:

$$dG/dn = R T \ln \frac{(\text{Na})_e}{(\text{Na})_i} - EF$$

En donde  $dG/dn$  es la medida de la variación de las calorías para un elemento muy pequeño del ión Na.

R, T y F tienen el significado usual en estos problemas y E corresponde a la polarización de la membrana celular en reposo.

De esta fórmula hemos alcanzado la información que sigue:

Los estímulos que inhiben la barrera del sodio son cuatro: *a*) aumento del sodio intracelular; *b*) aumento del potasio extracelular; *c*) disminución del sodio extracelular y *d*) disminución del potasio intracelular. En otras palabras, estos cuatro parámetros estimulan la bomba.

Los estímulos que aumentan la barrera e inhiben la bomba, también son cuatro: *a*) aumento del sodio extracelular; *b*) aumento del potasio intracelular; *c*) disminución del sodio intracelular y *d*) disminución del potasio extracelular.

La inhibición de la bomba de sodio favorece la entropía temporal y final de la célula (desorganización y muerte). Hay estudios que refuerzan el punto de vista que a medida que el hombre envejece, la actividad de la bomba de sodio disminuye. En los jóvenes, la actividad metabólica es suficiente para actualizar una importante cantidad de energía y por ello envejecen rápidamente. Psicológicamente, ello se traduce por lentitud en el curso del tiempo de referencia. Los años pasan más rápidamente a medida que se envejece, a

medida que la actividad de la bomba de sodio disminuye. Los viejos ven a los jóvenes cambiar constantemente, pero para éstos, los viejos siempre están iguales.<sup>8</sup>

Por fin hemos llegado al punto que consideramos más importante en nuestra comunicación, pues de él derivan medidas prácticas en el tratamiento de las cardiopatías. Inspirados en los conceptos de Brillouin, Gabor y Rothstein,<sup>6</sup> ampliamente discutidos por Costa de Beauregard,<sup>6</sup> admitimos que "la entropía es una medida de la falta de información" y que la cibernética aporta una idea nueva manejando a los contrarios: "el aumento en la información del estado final en un sistema, equivale a la posibilidad de hacer decrecer la entropía de este sistema". Ahora bien, al través de la fórmula de Conway, poseemos la información que la bomba de sodio se estimula disminuyendo el sodio extracelular y aumentando el potasio en el mismo compartimiento. La dieta baja en sodio y alta en potasio propuesta por nosotros<sup>9</sup> en 1960, es acorde con los principios expuestos, constituye además el aspecto más importante del tratamiento polarizante y para nosotros ocupa el sitio de honor en la terapéutica cardiovascular.

En esta comunicación se escogió solamente un parámetro, la bomba de

sodio, dentro de una organización muy compleja; pero todo está relacionado entre sí por mecanismos de tipo cibernético que refuerzan el aserto heraclitiano: "la verdadera sabiduría es conocer que todas las cosas están dirigidas por todas las cosas".

#### REFERENCIAS

1. Wiener, N.: *Cibernética y sociedad*. Buenos Aires, Ed. Sudamericana, 1958.
2. Wiener, N.: *Cybernetics*. New York, Wiley, 1961.
3. Sodi-Pallares, D.; Ponce de León, J.; Cisneros, F.; Bisteni, A., y Medrano, G.: *Entropy and cardiology*. *Geriatrics*, 21: 138, 1966.
4. De Robertis, E. D. P.; Nowinski, W. W., y Saenz, F. A.: *Cell biology*. Philadelphia, W. B. Saunders Company, 1965.
5. Post, R. L.: *Sodium and potassium transport across the human erythrocyte membrane*. *Biophysics of physiological and pharmacological actions*. American Association for the Advancement of Science, Washington, D. C., 1961.
6. Costa de Beauregard, O.: *Le second principe de la science du temps*. Paris, Aux Editions du Seuil, 1963.
7. Conway, E. J.: *Critical energy barriers to active transport in muscle and the redox pump theory. Regulation of the inorganic ion content of cells*. London, J. & A. Churchill Ltd., 1960.
8. Rosnay De, J.: *L'evolution et le temps*. *Agressologie*, 6: 237, 1965.
9. Sodi-Pallares, D.; Fishleder, B. L.; Cisneros, F.; Vizcaino, M.; Bisteni, A.; Medrano, G. A.; Polansky, B., y De Micheli, A.: *A low sodium, high water, high potassium regimen in the successful management of some cardiovascular diseases*. *Canad. Med. Ass. J.* 83: 243, 1960.