

# El agua: sus propiedades y su importancia biológica

*Luis Francisco Rojas-Solano\**

*Roberto Brenes-Esquivel\*\**

## Resumen

El agua es un componente de la naturaleza que ha estado presente en la Tierra desde hace unos tres mil millones de años. Constituye también la biomolécula más importante. El

\*Dr. Roberto Brenes-Esquivel, Médico cirujano graduado de la UACA. Jefe de la Cátedra de Fisiología/Fisiopatología en la carrera de Medicina y Cirugía de esta Universidad. Médico asistente y coordinador del dispensario médico del Campus Los Cipreses. Médico asistente del Servicio de Emergencias de la Clínica Hospital Santa Catalina. Concluye su Especialidad en Medicina del Trabajo.

\*\*Dr. Luis Francisco Rojas-Solano. Bioquímico del Servicio de Hematología del Hospital San Juan de Dios. Catedrático de la Facultad de Medicina de la UCR por 25 años. Jefe de la Cátedra de Bioquímica de la carrera de Medicina y Cirugía en la UACA.

agua, a pesar de ser muy simple pues está compuesta por sólo tres átomos, constituye una molécula de extraño comportamiento. Sin embargo, los organismos vivos dependen absolutamente de ella para su existencia, por lo cual se dice que el agua constituye el líquido de la vida. Se comentan algunas de las más importantes propiedades fisicoquímicas del citado fluido, esenciales para el surgimiento y mantenimiento de la vida en nuestro planeta.

**Palabras clave:** Agua, balance hídrico, renina-angiotensina-aldosterona, espacios líquidos corporales.

### Summary

Water is an element of nature, which has been present on the Earth since 3000 million years ago. It is also the fundamental molecule for life. Despite being so simply composed, by three atoms only, its molecule has a somewhat strange behaviour. However, living beings are absolutely dependent upon it for their existence, and it is therefore called the fluid of life. This article comments on several important physicochemical properties of this fluid, which have been essential for the origin and sustainment of life in our planet.

**Key words:** Water, water balance, renin-angiotensin-aldosterone, fluid compartments.

### A. Introducción

El agua es un componente de nuestra naturaleza que ha estado presente en la Tierra desde hace unos tres mil millones de años. Constituye también la *biomolécula* más abundante y más ampliamente distribuida. En forma sólida, hielo o nieve, cubre las regiones más frías de nuestro planeta. En estado líquido, cubre las tres cuartas partes de la super-

ficie terrestre, con una profundidad que en algunos sitios llega hasta unos once kilómetros. Del agua dulce existente, se calcula que el 69% corresponde al agua atrapada en los glaciares y en las nieves eternas; el 30% está constituido por las aguas subterráneas y una cantidad no superior al 0,7%, se encuentra en forma de ríos y lagos. El agua está presente en el aire en forma de vapor, a menudo en una cantidad que puede llegar a 18000 toneladas en el aire que gravita sobre cada km<sup>2</sup> de la superficie terrestre. Todos los alimentos contienen agua, en una proporción que varía de 7,3% en la harina de avena, hasta 94,7% en las lechugas.

El agua es el líquido más familiar para los seres que habitan la Tierra: océanos, ríos, lagos, precipitaciones. Abundante en casi todas las regiones del planeta, el agua determina gran parte de los paisajes y de los climas. El agua natural no es pura. En la naturaleza, el agua adquiere una variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas por el contacto con el ambiente. Por su contacto con la atmósfera, por ejemplo, el agua adquiere gases como el nitrógeno (N<sub>2</sub>), el oxígeno (O<sub>2</sub>), el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Su contacto con la tierra la provee de sustancias minerales y adquiere sustancias extrañas o inconvenientes, cuando irriga ambientes contaminados por el hombre. El pH de las aguas “naturales” oscila entre 7 y 9, mientras que el del agua de los océanos varía entre 8 y 8,4.

El agua “químicamente” pura se obtiene en el laboratorio destilándola y luego pasándola por columnas que contienen resinas intercambiadoras de iones, con el fin de quitarle las pequeñas cantidades de estas partículas que el agua conserva aún después de efectuarse la destilación.

## **B. Importancia biológica**

El agua, una molécula de estructura simple, pero de comportamiento extraño, puede ser considerada como el líquido de la vida: los organismos vivos dependen absolutamente de ella para su existencia. No sólo es la molécula más abundante en la biosfera, donde se la encuentra en sus tres estados, sino que además es el componente mayoritario de los seres vivos, en los cuales constituye entre el 65 y el 95% de la masa de las células y de los tejidos. El agua es, entonces, el componente esencial de la estructura y de la función de los tejidos de los seres vivos.

El agua es también considerada el soporte de donde surgió la vida. Sus propiedades físicas y químicas la hacen diferente a la mayoría de los líquidos y son las que le confieren su importancia biológica. Durante la evolución de la vida, los organismos se han adaptado al ambiente acuoso y han desarrollado sistemas que les permiten aprovechar las inusitadas propiedades del agua. A veces cabe preguntarse si existe algo aparentemente más simple que el agua, pero, pese a su engañosa simplicidad, este líquido, compañero inseparable del hombre, es más bien complejo y todavía no se le comprende a plenitud.

## **C. Historia**

El agua es uno de los cuatro elementos que el filósofo griego Empédocles había definido como constituyentes del Universo. Aristóteles acogió esta idea, la incorpora a su Física y la deja a la posteridad que la acepta durante muchos siglos. Los otros eran el aire, la tierra y el fuego. Hasta el siglo XVIII, el agua fue considerada como un cuerpo simple. En 1781, el químico inglés Sir Henry Cavendish realizó su síntesis por

combustión del hidrógeno en el aire. El químico francés Antoine-Laurent Lavoisier demostró luego que el agua está formada por hidrógeno y oxígeno. Más tarde, en 1805, el francés Louis-Joseph Gay Lussac y el prusiano Friedrich Wilhelm Humboldt, demostraron que el cociente de volúmenes de hidrógeno y oxígeno, H/O, es igual a 2, lo cual condujo, finalmente, a la fórmula H<sub>2</sub>O. La molécula de agua, entonces, está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

#### **D. Estructura del agua**

Algunos elementos al combinarse con el hidrógeno sólo dan origen a un compuesto. Así, por ejemplo, el átomo de cloro sólo forma un hidruro: el cloruro de hidrógeno (HCl). El hidrógeno y el oxígeno se combinan para dar lugar a dos compuestos: uno es el agua, el otro es el peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Este es un hecho muy curioso si tomamos en cuenta que el carbono y el hidrógeno forman miles de compuestos: los hidrocarburos.

Como quedó establecido en un párrafo anterior, la molécula del agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Cada átomo de hidrógeno está unido al de oxígeno por un enlace covalente que, en este caso, se forma porque los dos átomos comparten un par de electrones. Este par está constituido por el electrón solitario que tiene el átomo de hidrógeno en su única órbita y uno de los seis que tiene el oxígeno en la órbita más periférica. De esta manera cada átomo de hidrógeno queda con dos electrones y el del oxígeno con ocho. Como se sabe, estos números corresponden a capas electrónicas externas completas que confieren una gran estabilidad a cada átomo y, por ende, a la molécula.

1. *El agua tiene una estructura tetraédrica*

La estructura del agua no es lineal, sino que tiene forma de V. ¿Qué significa esto? Significa que, desde el punto de vista estructural, podemos representar la molécula de agua como un tetraedro irregular, con el átomo de oxígeno en el centro. Los dos enlaces de éste con los hidrógenos ocupan los vértices del tetraedro, mientras que los electrones no compartidos del oxígeno, en el orbital 2 sp<sup>3</sup> híbrido, ocupan los dos vértices restantes, de modo que el ángulo entre los dos hidrógenos es de 104° aproximadamente.

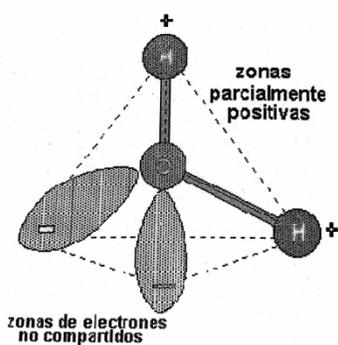


Figura 1. Estructura tetraédrica del agua

2. *La molécula de agua forma dipolos*

Se ha indicado que la molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno unidos a uno de oxígeno por

enlaces covalentes. Algunos enlaces covalentes presentan una propiedad que se conoce como polaridad. Dos átomos unidos por uno de estos enlaces comparten electrones y sus núcleos son sujetados por la misma nube electrónica. Pero resulta que en algunos casos estos núcleos no comparten los electrones por igual. La nube es más densa en torno a un átomo que al otro. En consecuencia, un extremo del enlace es relativamente negativo y el otro relativamente positivo, es decir, se forma un polo negativo y otro positivo. Se dice que este enlace es *polar* o que posee *polaridad*.

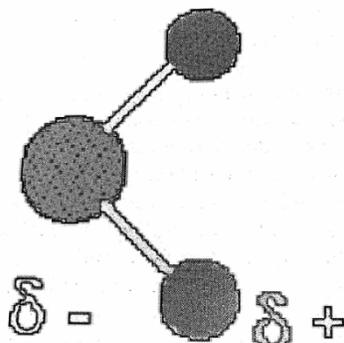
¿A qué se debe esta asimétrica distribución de los electrones? En el caso del agua, los electrones, partículas cargadas negativamente, son atraídos con más fuerza por el átomo de oxígeno que por el de hidrógeno. Recordemos que el núcleo celular es donde se ubica la carga positiva del átomo. El núcleo del átomo de hidrógeno posee un solitario protón, mientras que el del oxígeno tiene ocho protones libres y ocho neutrones, lo que hace que la carga positiva del núcleo del átomo de oxígeno sea ocho veces más grande que la del núcleo de hidrógeno.

Esta asimetría o desequilibrio electrónico de la molécula del agua se traduce en la existencia de un *momento dipolar eléctrico*, que se define como el producto que resulta al multiplicarse la magnitud de la carga  $e$ , por la distancia  $d$ , entre los centros de las cargas. Alrededor del oxígeno se concentra una densidad de cargas negativas, mientras que los núcleos de hidrógeno quedan desnudos, desprovistos parcialmente de sus electrones y manifiestan, por lo tanto, una densidad de carga positiva. A esta estructura que tiene cargas positivas de un lado y negativas del otro la conocemos como dipolo y por eso decimos que el agua es una molécula

polar o dipolar. Esto explica las propiedades fisicoquímicas del agua.

Debido a ese carácter, las moléculas del agua pueden asumir conformaciones ordenadas en los estados sólido y líquido. El agua se mantiene en estado líquido, más que en el sólido, porque el número de moléculas de agua que se unen a otras es menor en el estado líquido (3,5) que en el sólido (4). La vida media de la asociación-disociación de las moléculas de agua es de alrededor de 1 microsegundo.

La condición dipolar del agua no implica que la molécula tenga carga. La molécula es eléctricamente neutra. El bióxido de carbono también tiene enlaces covalentes:  $O=C=O$ , pero su arreglo lineal hace a su molécula simétrica y se cancelan sus polaridades. Como consecuencia, el bióxido de carbono no es polar. Algo semejante ocurre con las moléculas de los gases hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, para citar los que se encuentran en el aire.



*Figura 2. Estructura dipolar del agua*

### 3. Las moléculas de agua forman puentes de hidrógeno

El carácter dipolar del agua establece relaciones dipolo-dipolo entre sus propias moléculas. La interacción electrostática entre uno de los átomos de hidrógeno ligeramente positivo de una molécula de agua y el átomo de oxígeno ligeramente negativo de otra se denomina puente de hidrógeno (Fig. 3).

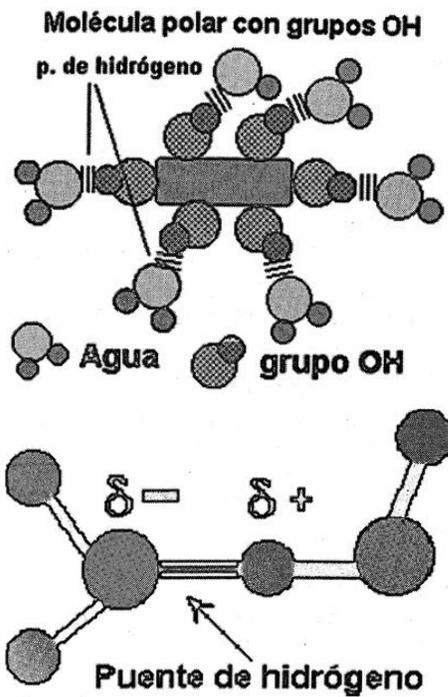


Figura 3. El puente de hidrógeno

En el puente de hidrógeno, un átomo de hidrógeno hace de puente entre dos átomos electronegativos (los de oxígeno, en el caso del agua), sujetando a uno con un enlace covalente, que mide 0,099 nm y al otro con fuerzas electrostáticas, el puente propiamente dicho, cuya longitud es de 0,177 nm. Aunque son uniones débiles, el hecho de que alrededor de cada molécula de agua se dispongan otras, unidas por puentes de hidrógeno, permite que se forme en el agua (líquida o sólida), una estructura de tipo reticular, responsable en gran parte del comportamiento anómalo y de la peculiaridad de las propiedades fisicoquímicas del agua.

Comparados con los enlaces covalentes típicos, los puentes de hidrógeno son bastante débiles. Romper un enlace de hidrógeno en agua líquida requiere alrededor de 4,5 Kcal por mol, más o menos el 4% de la energía que se requiere para romper un enlace oxígeno-hidrógeno de la misma molécula de agua, que es igual a 110 Kcal/mol o un enlace covalente carbono-hidrógeno, que es de 100 Kcal/mol. El metano (CH<sub>4</sub>), cuyo peso molecular es igual a 16 y el amoníaco (NH<sub>3</sub>), que pesa 17, son gases a la temperatura ambiental, mientras que el agua, de peso molecular igual a 18, es líquida. ¿Por qué esto es así? La explicación de este fenómeno radica en la capacidad que tiene el agua de formar puentes de hidrógeno. Esto también explica la viscosidad y la tensión superficial, relativamente altas que tiene el agua.

Los puentes de hidrógeno son muy importantes en la vida. En primera instancia, porque se pueden formar en gran número y, en segundo lugar, porque confieren una resistencia estructural, no solo al agua, sino a otras moléculas de características bipolares tan diversas y tan importantes como los ácidos nucleicos y las proteínas.

## E. Propiedades del agua

### 1. Acción disolvente

El carácter bipolar y su capacidad para formar puentes de hidrógeno hacen del agua el líquido que más sustancias disuelve y por eso se la considera como el disolvente universal. La solubilidad de las moléculas está determinada en forma primordial por su polaridad y por su capacidad para formar puentes de hidrógeno con el agua. Las moléculas orgánicas no iónicas, con grupos funcionales polares, como los alcoholes y los carbohidratos de cadena pequeña, son muy solubles en agua. Estas moléculas se dispersan entre las moléculas de agua, con las cuales sus grupos funcionales forman puentes de hidrógeno. Las sustancias que se disuelven con facilidad en el agua, incluyendo las sustancias iónicas, como el cloruro de sodio y las polares como la glucosa y el azúcar de mesa (sacarosa), se dice que son hidrofílicas, palabra derivada de las voces griegas hydor = agua y phílos = amigo.

Las sustancias no polares son insolubles en agua. Los hidrocarburos, por ejemplo, tienen una solubilidad muy baja porque las moléculas del agua tienden a interactuar con ellas mismas en vez de hacerlo con las moléculas de la sustancia no polar. Al quedar excluidas, estas moléculas tienden a reunirse entre sí. El fenómeno de exclusión de las sustancias no polares por el agua se llama efecto hidrofóbico (hydor = agua y phóbos = temor), por lo cual se dice que las moléculas no polares son hidrofóbicas.

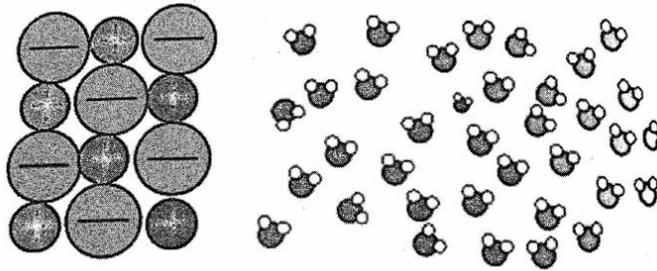
En el caso de las disoluciones iónicas (Fig. 4), los iones de las sales son atraídos por los dipolos del agua que se insertan entre ellos, orientando hacia cada uno la parte

de carga eléctricamente opuesta quedando “atrapados” y recubiertos de moléculas de agua. Este apantallamiento debilita considerablemente la atracción entre los iones cristalinos, lo que reduce la cohesión del cristal dando lugar entonces a iones hidratados o solvatados.

La capacidad disolvente del agua efectúa dos funciones:

1-el agua constituye el medio en donde ocurren las reacciones del metabolismo

2-el agua forma sistemas de transporte de diversas sustancias.



*Figura 4. Poder de solvatación de las moléculas del agua*

## *2. Elevada fuerza de cohesión*

Los puentes de hidrógeno mantienen las moléculas de agua fuertemente unidas, formando una estructura

compacta que la convierte en un líquido difícil de comprimir. Por esto puede funcionar en algunos animales como un esqueleto hidrostático, como ocurre en algunos gusanos perforadores capaces de agujerear la roca mediante la presión generada por sus líquidos internos.

### *3. Elevada fuerza de adhesión*

Esta fuerza también está relacionada con los puentes de hidrógeno que se establecen entre las moléculas de agua y otras moléculas polares y a ella se debe, junto con la cohesión, el fenómeno llamado capilaridad. Cuando se introduce un capilar en un recipiente con agua, esta asciende por el capilar como si trepara “agarrándose” de las paredes hasta alcanzar un nivel superior al del recipiente, donde la presión que ejerce la columna de agua se equilibra con la presión capilar. A este fenómeno se debe en parte la ascensión de la savia bruta, desde las raíces hasta las hojas, a través de los vasos leñosos de las estructuras vegetales.

### *4. Gran calor específico*

Se llama calor específico al número de calorías que se deben suministrar a un gramo de un líquido, para aumentar su temperatura en 1 °C. El calor específico del agua, igual a 1, es más elevado que el de cualquier otro líquido, lo cual quiere decir que se requiere más calor para aumentar la temperatura de cierta cantidad de agua que el requerido para aumentar la temperatura de una cantidad igual de cualquier otro líquido. En lo que respecta al agua, el calor suministrado debe romper primero los puentes de hidrógeno.

Esta propiedad es muy importante porque le permite al agua contrarrestar los aumentos de temperatura. ¿A cuál

temperatura nos referimos? En el transcurso del metabolismo humano se generan diariamente unas 3000 calorías y de no ser por el mecanismo compensador del agua, la temperatura corporal ascendería hasta unos 100 o 150 °C. Como el metabolismo es, en esencia, un proceso intracelular, esto demuestra que el agua que forma el citosol sirve de protección, absorbiendo gran parte del calor generado, lo que hace posible mantener constante, la temperatura del “medio interior”.

##### *5. Elevado calor de vaporización*

Por calor de vaporización (a veces llamado “calor latente de vaporización”), se entiende la cantidad de calor que debe suministrarse a 1 gramo de líquido para pasarlo al estado de gas, a su temperatura de ebullición. El del agua es igual a 536 calorías, mayor que el que se necesita para vaporizar un volumen igual de cualquier otro líquido y muy alto tratándose de una molécula tan pequeña. El organismo pierde agua continuamente por la piel y por los pulmones, bajo la forma de vapor; como este proceso es endotérmico, le permite al organismo perder calor. Se entiende entonces porqué la evaporación del sudor en la superficie del cuerpo (vaporización del agua) es un proceso que contribuye a enfriar el organismo. Para explicar la vaporización del agua, se recurre de nuevo al concepto de los puentes de hidrógeno. Para evaporar el agua primero se han de romper los puentes y posteriormente se ha de dotar a las moléculas de suficiente energía cinética para pasarla del estado líquido al gaseoso.

##### *6. Alta tensión superficial*

La tensión superficial es la propiedad que permite distinguir el estado líquido del gaseoso. Es una consecuencia

de la fuerza con la que se atraen las moléculas entre sí. Esta cohesión molecular no sólo tiende a impedir el paso del líquido a gas, sino que también determina la existencia de la superficie límite que caracteriza a los líquidos. La fuerza que tiende a la formación de esta superficie recibe el nombre de tensión superficial. Se expresa como energía de superficie y se define como el trabajo necesario para aumentar en 1 cm<sup>2</sup> la superficie libre del líquido. El agua posee una tensión superficial mayor que la de otros líquidos como el etanol, el glicerol, el benceno, el éter etílico, pero mucho menor que la del mercurio.

Algunas sustancias disueltas disminuyen la tensión superficial del disolvente, fenómeno que se conoce con el nombre de actividad capilar. Así, los jabones, por ejemplo, originan un considerable descenso de la tensión superficial del agua. Las sales de los ácidos biliares, presentes en la bilis, realizan su función biológica produciendo un descenso en la tensión superficial del agua y hacen de esa secreción un excelente emulsificador de las grasas. Esto facilita su digestión en el intestino, pues se convierten en mejores sustratos para las enzimas digestivas que se conocen con el nombre de lipasas.

#### *7. Alta constante dieléctrica*

La constante dieléctrica del agua es muy alta, sólo inferior a la de algunos líquidos biológicos como la sangre y la orina, lo cual favorece la disociación de los electrolitos que se disuelven en ella.

Analizado el concepto de constante dieléctrica se tiene: dos masas puntiformes de carga unitaria y de signo contrario

se atraen en el vacío con una fuerza que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Si la atracción de esas masas se lleva a cabo en otro medio que no sea el vacío, la fuerza de atracción disminuye y cuanto más alta sea la constante dieléctrica del medio, tanto menor es la fuerza de atracción. Lo dicho significa que la atracción de dos iones de carga opuesta (un catión y un anión) en el agua es menor que en el vacío; en el plasma sanguíneo y en la orina menor que en el agua. En otras palabras, se puede establecer la siguiente relación:

Constante dieléctrica: orina > agua > vacío

Atracción entre iones: vacío > agua > orina

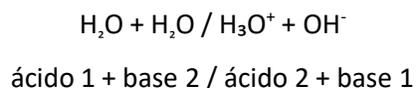
#### *8. Notable conductividad térmica*

En el agua, esta propiedad es mayor que en cualquier otro líquido natural, exceptuando el mercurio; es la que determina su propiedad de termorregulación, impidiendo la formación de gradientes de temperatura entre los diferentes compartimientos del organismo.

#### *9. El agua tiene una constante de disociación*

Por su especial estructura, el agua origina el mismo catión que originan los ácidos, el ión hidrógeno ( $H^+$ ) y el mismo anión que producen las bases, el ión hidroxilo ( $OH^-$ ). Los iones hidrógeno son protones que sólo se conciben libres durante cortos intervalos de tiempo en tubos de alto vacío. En los medios acuosos tienden a hidratarse para dar lugar a los iones hidronio o protones hidratados:  $H_3O^+$ . Este comportamiento del agua es comparable al de las sustancias que pueden liberar los dos tipos de iones y que se conocen como sustancias anfotéricas o anfólitos.

El agua puede sufrir su propia disociación actuando como un ácido, donando iones hidrógeno a otra molécula de agua, la que funciona entonces como una base o aceptor de protones, es decir, la base conjugada del ácido, según la siguiente ecuación:



Esto permite decir que en realidad el agua puede ser considerada como una mezcla de agua molecular ( $\text{H}_2\text{O}$ ), protones hidratados ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) y iones hidroxilos ( $\text{OH}^-$ ). Las medidas de conductividad efectuadas demuestran que la tendencia a la disociación que manifiesta el agua es muy débil, de modo que en cada 10.000.000 litros de agua sólo existe 1 equivalente de iones  $\text{H}^+$  y 1 equivalente de iones  $\text{OH}^-$ , es decir 0,0000001 o  $10^{-7}$ / litro. El producto iónico del agua pura a  $25^\circ\text{C}$  es una constante que conocemos como  $K_w$  y que tiene un valor de  $1,0 \times 10^{-14}$ , que resulta de multiplicar la concentración de iones hidronio por la de iones hidroxilo:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-14}$$

La concentración de los iones hidrógeno en las soluciones acuosas debe ser expresada en moles por litro. En ocasiones esta concentración es muy pequeña y entonces, para evitar el uso de cifras con varios ceros a la derecha del punto o coma decimal, se acostumbra a expresarla bajo la forma de potencias negativas. Sørensen ideó el concepto de pH que es igual al logaritmo negativo de la concentración de los iones hidrógeno de la solución.

$$\text{pH} = - \log [\text{H}^+]$$

Supongamos que la concentración de iones hidrógeno que se representan como  $[H^+]$ , es igual a 0,0000001 moles/litro, o sea  $1 \times 10^{-7}$ /litro, ¿cuál es el pH de la solución?

$$PH = -\log 1 \times 10^{-7}$$

$$PH = 7 - \log 1$$

$$\log 1 = 0$$

$$pH = 7$$

Como en el agua pura las concentraciones de los iones hidrógeno e hidroxilo son iguales y cada una con un valor de  $1 \times 10^{-7}$ , entonces, si el  $pH = 7$ , el  $pOH = 7$

#### **F. Funciones del agua**

Las mencionadas propiedades del agua son la base de sus funciones, las que pueden resumirse así:

- 1- Soporte o medio donde ocurren las reacciones metabólicas intra y extracelularmente
- 2- Amortiguador térmico
- 3- Transporte de sustancias (nutritivas, de desecho, etc.)
- 4- Lubricante amortiguador del roce entre los órganos
- 5- Favorecedor de la circulación y de la turgencia
- 6- Promotor de la flexibilidad y la elasticidad de los tejidos
- 7- Reactivo importante en los procesos metabólicos aportando iones:  $H^+$  y  $OH^-$

#### **G. El agua y los líquidos del organismo**

El organismo viviente no existe en realidad en el “medio exterior” (la atmósfera si respira, o las sales, o el agua, si son éstos sus elementos), sino en el “medio interno” formado por

el líquido orgánico circulante que rodea y baña a todos los tejidos; tal es la linfa y el plasma y la parte líquida de la sangre, en los animales superiores. Todos ellos difunden a través de los tejidos y forman el conjunto de líquidos intercelulares que son la base de toda nutrición local y el factor común de todos los recambios de los elementos.

La estabilidad del “medio interno” es la condición fundamental para la libertad y la independencia de la vida; el mecanismo encargado de ello es el que asegura, en el “medio interno”, el sostenimiento de todas las condiciones necesarias para la vida de los elementos morfológicos y celulares.

**Claude Bernard.** (Fisiólogo francés)

### *1. Comentario introductorio*

Hace un billón de años, la vida empezó... en el mar. Poseía propiedades únicas para el mantenimiento de la vida. Por ejemplo, el agua del mar constituye un disolvente de los electrolitos y del oxígeno necesario para la vida. Es también un disolvente para el bióxido de carbono que se acumula en el organismo durante el funcionamiento de la actividad metabólica. Como el bióxido de carbono es volátil, se disipa fácilmente en la superficie del mar.

El volumen del mar es tan grande que puede absorber o perder grandes cantidades de calor, con cambios relativamente pequeños en su temperatura. El volumen del mar es tan grande, que cambios significativos en su composición solo ocurren en períodos de miles de años. A través de los eones, los ríos del mundo han erosionado la tierra y han conducido y vaciado su contenido en el mar. Se ha calculado, por ejemplo, que el río Mississippi descarga anualmente en el Golfo de México  $56 \times 10^{13}$  litros de agua, con unos 150

millones de toneladas de materias disueltas y unos 400 millones de toneladas de materias en suspensión.

## *2. El agua corporal*

El contenido total de agua del cuerpo puede ser determinado introduciendo en él una cantidad conocida de una sustancia que se difunda homogéneamente en toda el agua extracelular y en la de las células, para luego determinar su concentración. Para esto se han usado la antipirina, la urea, la tiourea y más recientemente el agua pesada (óxido de deuterio o el óxido de tritio).

Se ha dicho repetidamente que el contenido de agua del organismo humano es de cerca de 70%. Este dato varía, sin embargo, porque se relaciona principalmente con el contenido de grasa del cuerpo y con el sexo. En consecuencia, una persona gruesa tendrá relativamente menos agua que una delgada. Además, la mujer tiene menos contenido de agua corporal que el hombre.

Un hombre obeso tiene un contenido de agua de aproximadamente 43%, mientras que un hombre delgado, que tenga el mismo peso, tendrá un contenido de agua de 70%. El promedio de agua del hombre es de 60%. De manera semejante, una mujer obesa tiene un grado de hidratación de 44% aproximadamente, mientras que una delgada tendrá 60%. El contenido promedio de agua de una mujer es de 50%. En los niños la relación entre la masa corporal y el agua es mayor que en los adultos. Entre el 70 y el 83% del peso de un niño recién nacido consiste en agua. El contenido de agua del cuerpo también aumenta con la edad. En la figura 5 se presentan los porcentajes del peso corporal que corresponden al agua.

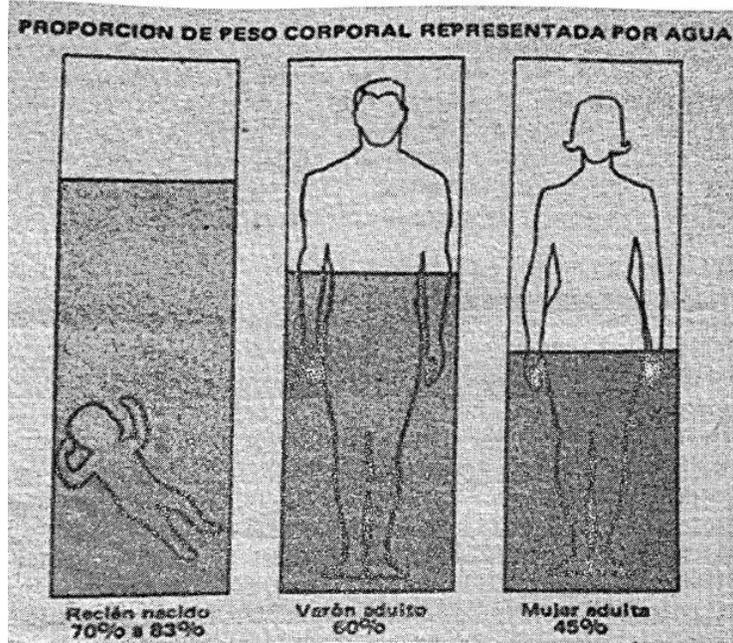


Figura 5. Relaciones entre el peso del cuerpo y el contenido de agua

### 3. Fuentes de agua del organismo

El agua que llega al cuerpo viene de las siguientes fuentes:

- 1- los líquidos de la dieta
- 2- los alimentos sólidos
- 3- la oxidación de los alimentos orgánicos

El agua representa entre el 70 y el 90% del peso de una dieta promedio de un individuo adulto, porque hasta los alimentos sólidos contienen grandes cantidades de agua. Aún más, el agua es uno de los principales productos de la "combustión" de las proteínas, de las grasas y de los

carbohidratos. La combustión de 1 gramo de cada una de esas tres clases de sustancias provee al cuerpo así: de las proteínas, 0,34 ml; de las grasas, 1,07 ml y de los carbohidratos 0,56 ml de agua.

Una dieta ordinaria de 3000 calorías contiene, en consecuencia, 450 ml de agua en forma de alimentos sólidos y puede proveer unos 300 o 450 ml adicionales al metabolizarse, por oxidación, las moléculas que componen los alimentos. El resto del agua ingerida lo aportan los alimentos líquidos.

#### *4. Pérdidas de agua del organismo*

El cuerpo pierde agua por la vía del tracto gastrointestinal, por los pulmones, por los riñones y por la piel. Las pérdidas que se conocen como obligatorias son aquellas que el cuerpo sufre en forma cotidiana para la termorregulación por la piel y los pulmones y para la excreción de los productos de desecho del metabolismo, mediante las vías renal y gastrointestinal. Todas las demás pérdidas de agua son aditivas, porque se suman a las obligatorias. Algunas de ellas se producen por vómito, diarrea, drenaje a través de una fístula, aplicación de tubos de succión y transpiración visible.

a) En condiciones “normales”, unos 80 a 150 ml de agua se excretan por las heces de un individuo adulto. Esta cifra puede aumentar considerablemente cuando la dieta es rica en vegetales y, desde luego, si hay diarrea.

b) En ausencia de una perspiración activa o visible, el cuerpo pierde continuamente vapor de agua desde

la superficie de la piel y de los pulmones en una relación inversa a la humedad relativa de la atmósfera. Se ha mencionado que el calor de vaporización del agua es muy alto. El calor que se pierde en el proceso llamado “perspiración insensible” a la temperatura del recinto, constituye el 25% del total de calor perdido. La pérdida de agua por esta ruta representa una pérdida obligatoria determinada por la actividad metabólica y se calcula que en una persona adulta “normal” puede ser de unos 500 ml por metro cuadrado de superficie corporal, es decir, unos 850 ml en un hombre de 70 kg (1,73 m<sup>2</sup> de superficie corporal).

c) Cuando la producción de calor o la temperatura ambiental se elevan hasta un punto en el cual la pérdida de calor por los mecanismos ordinarios es inadecuada, las glándulas sudoríparas entran en acción. Obviamente, la cantidad de agua perdida por esta ruta varía enormemente. Este sudor visible varía tanto en volumen como en composición y es determinado por la velocidad de la evaporación, la ingestión previa de líquido por parte del individuo, la temperatura y la humedad externas y por factores hormonales. Se han reportado volúmenes tan grandes como 14 litros diarios.

Tanto el volumen como la composición de la perspiración sensible son influenciados por la aclimatación del sujeto. Las personas “recién llegadas” a un ambiente caliente y húmedo producen grandes cantidades de sudor cargado de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>. En cambio, los individuos aclimatados eliminan menor volumen de un sudor más pobre en electrolitos. La pérdida de

grandes cantidades de sudor, que puede tener hasta 90 mEq/litro de  $\text{Na}^+$  y de  $\text{Cl}^-$  sin una reposición adecuada, puede conducir a los llamados calambres del minero o del fogonero, (personas que sudan en exceso y que ingieren agua, pero siguen perdiendo líquido extracelular). Este trastorno, que se debe a la pérdida de electrolitos por esta vía, se puede prevenir agregando pequeñas cantidades de sal ( $\text{NaCl}$ ) al agua que se le administra al trabajador. Entonces, en contraste con la perspiración insensible, que consiste en pérdida de agua, principalmente, el sudor contiene de 30 a 90 mEq/litro de  $\text{Na}^+$  y de  $\text{Cl}^-$  constituyéndose en una solución hipotónica, puesto que el plasma contiene 140 mEq/litro de  $\text{Na}^+$ . El sudor, en consecuencia, remueve del cuerpo relativamente más agua que electrolitos, pero no solamente la primera, como algunos podrían imaginar, por lo que, a la hora de reponer el líquido extracelular perdido, no basta con administrar sólo el disolvente, es decir, el agua.

d) La orina constituye el medio importante para la eliminación del agua suministrada al cuerpo en exceso. Los riñones tienen una gran capacidad para regular la excreción urinaria de agua. Cuando se trata de una persona adulta bajo una dieta promedio, que representa cerca de 50 g de sólidos para ser excretados diariamente por la orina, se requieren unos 500 ml de agua para que sean disueltos y eliminados. Si hay algún problema en cumplir con este requisito, entonces ocurre retención de alguno o algunos de los constituyentes de la orina, principalmente la urea, en los líquidos del organismo.

### *5. Los compartimientos acuosos del organismo*

Se acostumbra a dividir el agua del cuerpo en dos compartimientos principales: a) el agua extracelular (líquido extracelular) y el agua intracelular (líquido intracelular). El primero está formado por el líquido intersticial y el plasma sanguíneo. Sus porcentajes del peso corporal se ilustran en la figura 6.

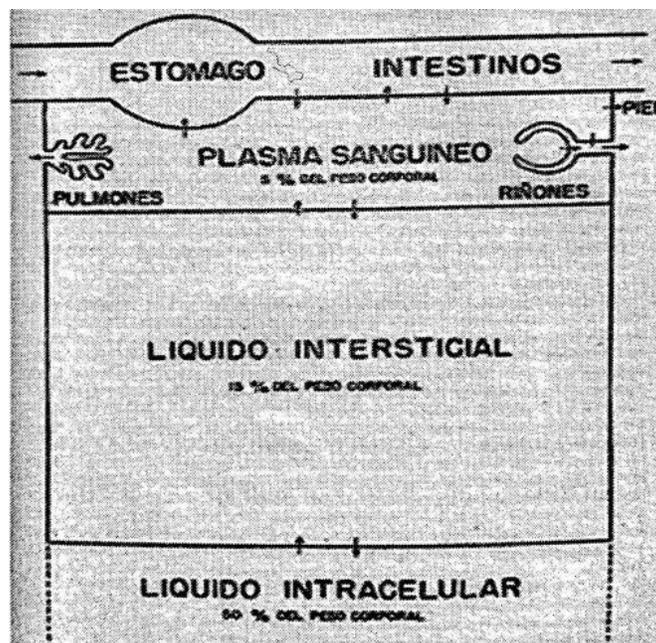
### *6. El líquido extracelular*

El líquido extracelular está compuesto por el plasma sanguíneo y el líquido intersticial, el que se encuentra entre los vasos sanguíneos y las células de los tejidos. Las secreciones gastrointestinales, la orina, el sudor, los exudados y los trasudados, también pueden ser considerados como porciones especializadas del agua extracelular, porque cuando se pierden ocurre una pérdida seria del agua extracelular.

El líquido extracelular del organismo humano todavía mantiene una composición cualitativa electrolítica igual a la que tenía el mar en tiempos muy lejanos, a pesar del gran número de cambios que experimenta continuamente. Constituye una entidad bien clara y definida si se la considera funcionalmente. Su papel biológico es tan evidente como el del sistema nervioso y su organización en este aspecto se considera ingeniosa. El líquido extracelular constituye, de acuerdo con Claudio Bernard, el medio ambiental inmediato del organismo. Sustituye al medio externo (el agua de mar) de las formas primitivas de vida, del cual conserva todavía sus características fundamentales. Este medio acuoso que rodea a las células de los tejidos es el vehículo de transporte de los materiales nutritivos y de los de desecho y, a la par de

este servicio tan sencillo, provee la estabilidad de las condiciones fisicoquímicas necesarias, tales como la reactividad, la presión osmótica y la temperatura.

La historia del líquido extracelular se marca claramente por su parecido químico con el agua del mar. Ambos contienen los mismos cuatro componentes de las bases totales (Na, K, Ca y Mg), el mismo predominio de los iones sodio y cloruro y el mismo par de sustancias reguladoras, el ácido carbónico y el bicarbonato. Puede decirse que tienen el mismo esqueleto químico, pero que la concentración iónica total del agua de mar es varias veces mayor que la del líquido extracelular. Como se sabe que la salinidad del agua de mar aumenta continuamente en el transcurso del tiempo, se puede admitir que el líquido extracelular corresponde al agua marina de la época en que apareció en los seres el medio interno acuoso. En la figura 7 se ilustran las diferencias entre el agua de mar y los líquidos humanos.



*Figura 6. Relaciones entre el peso del cuerpo y los compartimientos acuosos del organismo humano*

*7. El organismo posee mecanismos que “regulan” la cantidad y la composición del líquido extracelular*

Cuando ocurre un aumento en la concentración de los solutos (un aumento en la presión osmótica), ya sea en el agua extracelular o en la del interior de las células, se lleva a cabo una desviación del agua hacia el líquido extracelular o hacia fuera de él y entonces se produce un cambio en el volumen del agua extracelular.

Para el mantenimiento de la vida, el organismo tiene mecanismos homeostáticos o reguladores que ayudan a mantener la presión osmótica y el volumen del agua extracelular dentro de los límites fisiológicos. La presión osmótica es regulada por la hipófisis posterior mediante la hormona antidiurética (vasopresina o ADH). El volumen del líquido extracelular es regulado por la hormona llamada aldosterona, producida por la zona glomerulosa de la corteza suprarrenal.

La ADH regula la presión osmótica del medio extracelular y, por ende, la de las células por retención o excreción de agua por los riñones. El estímulo para que ocurra secreción de la ADH es la presión osmótica relativa de las células, es decir, la presión osmótica de las células en relación con la del agua extracelular. Cuando la presión osmótica del líquido extracelular se hace relativamente más alta que la de las células, las estructuras nerviosas reguladoras ubicadas en los núcleos supraóptico y paraventricular del hipotálamo, estimulan a la hipófisis posterior para que libere la ADH producida de previo en dichos núcleos.

La hormona antidiurética sale entonces a la sangre (líquido extracelular) y es llevada hasta los túbulos distales

y colectores de los riñones, en donde la hormona aumenta la permeabilidad de estas estructuras hacia el agua. Al ocurrir esto, aumenta la reabsorción de agua, aumenta el volumen del líquido extracelular y se reduce el volumen de la orina. Las células sensibles a los cambios de presión arterial, ubicadas en el aparato yuxtaglomerular de los riñones, responden a una disminución de la presión liberando una sustancia llamada renina. Esta proteína dotada de actividad enzimática cataliza la proteólisis de otra proteína liberada por el hígado y presente en el plasma sanguíneo, el angiotensinógeno, para dar lugar a una molécula llamada angiotensina I, que en su continuo viaje por la circulación es transformada en hipertensina II (angiotensina II) por la Enzima Convertidora de Angiotensina de origen primordialmente pulmonar. La angiotensina II se orienta hacia sus receptores ubicados en la zona glomerulosa de la corteza suprarrenal y estimula a esta glándula para que aumente la síntesis y la secreción de un esteroide llamado aldosterona. A su vez, la angiotensina II posee propiedades presoras intrínsecas, al actuar como potente vasoconstrictor arteriolar periférico.

El sitio de acción de la aldosterona son los túbulos distales de los riñones. Cuando la aldosterona se secreta, los iones  $\text{Na}^+$  y el agua son retenidos y entonces esto aumenta la presión arterial y el flujo sanguíneo. Una vez que este efecto se consigue, el aparato yuxtaglomerular suspende la liberación de la renina y se detiene la liberación de la aldosterona. Estas relaciones se ilustran en la figura 8.

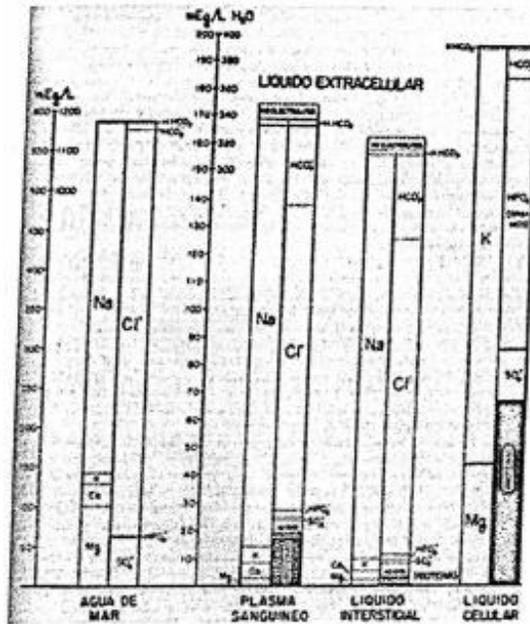


Figura 7. Composición del agua de mar y de los líquidos del organismo humano

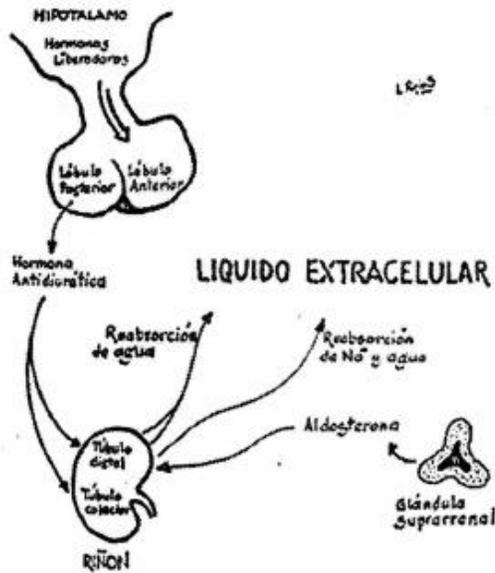


Figura 8. Factores que regulan la presión osmótica y el volumen del líquido extracelular

## **Conclusión**

Las propiedades fisicoquímicas del agua sin duda la hacen un compuesto singular, único en la naturaleza. Las implicaciones de dichas propiedades para el mantenimiento de la vida como se la conoce en el Planeta Tierra son impresionantes. La investigación médica relativa a los mecanismos de balance hídrico fino en el organismo humano es continua; no es tema acabado. Un ejemplo de esto lo constituye la utilización de péptidos natriuréticos como método diagnóstico o terapéutico.

## **Bibliografía**

Karp, Gerald. Cell and Molecular Biology. John Wiley and Sons Inc. 1996

Masterton, William L. y Emil J. Slovinsky. Química General Superior. W.B. Saunders Co. 1974.

Lehninger, A. Bioenergetics. W.A. Benjamin Inc. Philippines. 1971.

Devlin M., Thomas. Textbook of Biochemistry. Wiley-Liss. 1997.

Horton, H. Robert. Biochemistry. Prentice Hall. 1993.