

## “Agua y Vida”, por Javier Sancho

### 1. INTRODUCCIÓN:

El agua es el compuesto más sencillo que forman el O y el H, y la segunda molécula más abundante del Universo. Bebemos agua a diario, nos lavamos con ella, pescamos y nadamos en ella, cocinamos con ella y, sin embargo, es posible que nos pase por alto la relación íntima que mantiene con nuestra vida. El agua es el material más estudiado de la Tierra pero su comportamiento y funciones todavía no se comprenden bien.

### 2. EL AGUA EN LA VIDA DIARIA, LA ECONOMÍA Y LA POLÍTICA:

Religión y literatura. La importancia del agua para las personas explica la relevancia que adquiere en distintas religiones. La mayoría consideran al agua purificadora y muchas incorporan rituales de lavado. La religión grecorromana abunda en deidades acuáticas. La Biblia menciona el agua en sus primeros versículos. El Corán relata que Dios creó a todos los seres vivos del agua. En la Literatura las imágenes del agua desempeñan un papel recurrente como metáfora de la vida y de la muerte.

**Origen de civilizaciones, transporte y colonización:** los seres humanos se han asentado de forma general cerca de fuentes de agua. La civilización ha florecido alrededor de grandes ríos y rutas acuáticas. Las grandes metrópolis modernas deben, en parte, su éxito a un acceso fácil al agua. En los siglos de la expansión europea se exploraron los océanos y se forjaron los grandes imperios coloniales. Hasta mitad del siglo XIX, el agua ha sido un medio de transporte fundamental.

**Disponibilidad:** la Tierra contiene aproximadamente 1,4 Giga Km<sup>3</sup> de agua que cubren el 71% de su superficie. La mayor parte del agua superficial (97 %) es salada y el 3 % restante se encuentra en glaciares, casquetes polares, ríos y lagos. Cada año, el 4 % del agua se evapora, es transportada por el viento y vuelve a precipitar.

**Agricultura:** El uso del agua varía según los países. En muchos países en desarrollo, el riego constituye el 90% del uso del agua. En países secos como España, excede del 70% mientras que en Inglaterra el agua empleada en agricultura no llega al 1%.

**“La Tierra contiene aproximadamente 1,4 Giga Km<sup>3</sup> de agua que cubren el 71% de su superficie.”**

**Fuente de energía:** Antes de la revolución industrial, el agua era una fuente de energía esencial. Actualmente la energía hidroeléctrica es una fuente de energía barata, limpia y renovable. El agua puede ser de nuevo, en el futuro, la fuente de energía principal si se consigue domesticar la fusión nuclear o, al menos, un vehículo para aprovechar otras fuentes de energía mediante pilas de H.

**Transportador de calor:** Tanto el agua líquida como el vapor se utilizan como intercambiadores de calor (para refrigerar y calentar) por su disponibilidad y su alto calor específico. En las centrales térmicas actúa de refrigerante. En las nucleares puede actuar como refrigerante y como moderador de neutrones. En la extinción de fuegos es útil por su alto calor de vaporización y por ser razonablemente inerte.

**Estándar científico:** El agua ha sido utilizada como estándar científico. En 1795, el gramo se definió como “el peso absoluto de un volumen de agua pura igual a un cubo de una centésima de metro”. En 1967, el Kelvin, se definió como “la fracción 1/273.16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua” .

**Recreo y uso diario:** Además de su uso en distintas actividades económicas, las personas utilizamos el agua en actividades de recreo (nadar, pescar, esquiar...), ornamentales (fuentes)

y, a diario, para cocinar, o como disolvente para lavarnos, para lavar el coche, o simplemente para deshacernos de los correspondientes residuos.

**Política:** La demanda per capita de agua está creciendo al tiempo que la disponibilidad per capita disminuye a causa del aumento de la población y del desarrollo industrial. Por ello, el agua es un recurso estratégico y un elemento importante en muchos conflictos políticos. El uso de agua transfronteriza causa problemas en algunas regiones de la Tierra. El ejemplo más cercano es el de oriente medio, donde el 5 % de la población mundial debe repartirse el 1 % del agua fresca disponible en el mundo. Israel y Jordania dependen del río Jordán, controlado por Israel. El control del agua es una parte fundamental del conflicto palestino. Los altos del Golán, disputados por Siria e Israel, proporcionan al último un tercio del agua que consume. En la península ibérica el grado de conflicto es muy inferior, sin que por ello deje de haber disputas por el agua.

### 3. LA MOLÉCULA DE AGUA:

**Origen y distribución del agua en el Universo:** Como casi todas las sustancias, el agua se compone de moléculas. El H que aparece en el agua se formó relativamente pronto tras el Big-Bang, pero el oxígeno tuvo que esperar a que la primera generación de estrellas consumiera su H y comenzara a fundir átomos de He produciendo, entre otros, átomos de O. Al terminar sus reacciones nucleares, estas estrellas explotaron diseminando el O. Después, la condensación de nubes interestelares de polvo y gas dio lugar a nuevas estrellas y en torno a ellas a planetas ricos en elementos pesados. Las personas estamos construidas con esos materiales y por eso se dice que somos polvo de estrellas. La abundancia de O e H y su alta reactividad explican que al agua sea una molécula abundante en el Universo. En nuestro sistema solar se ha detectado la presencia de agua en la luna, en Marte, en algunas lunas de Júpiter y de Saturno y en cometas. Se sabe

que algunos exoplanetas contienen vapor de agua y que el agua está presente en nubes interestelares.



**Balance de agua en la tierra:** La Tierra es el único planeta del sistema solar que contiene grandes cantidades de agua. ¿Por qué es distinto de otros planetas? Por un lado, su tamaño y distancia al sol permiten que su temperatura y presión sean las adecuadas. Por otra parte, la fotosíntesis ha liberado oxígeno molecular que ha destruido el amoníaco y el metano, reduciendo el efecto invernadero que habría elevado la temperatura. El agua que ha ido perdiendo la Tierra se estima en el 0.2 % del total. Esto significa que el agua que nos rodea (unos 1.4 10<sup>24</sup> gramos) es probablemente la misma que contenía la Tierra en su más tierna infancia.

**Estructura de la molécula de agua:** La composición química del agua comenzó a ser conocida a partir de los trabajos de Cavendish. La molécula de agua es un objeto subnanoscópico, con un diámetro aproximado de 2.75 Å, constituido por la unión de dos átomos de H y uno de O, por lo que su fórmula química es H<sub>2</sub>O. Tiene forma de “v” muy abierta, con el O en el vértice. Como el O es mucho mayor que los H, la molécula de agua es parecida a una esfera con dos protuberancias. La característica más destacada de la molécula del agua es su polaridad, consecuencia de la diferente electronegatividad de sus átomos. Esta polaridad determina buena parte de sus propiedades,

## “Agua y Vida”, por Javier Sancho

como su alta adhesión, su capacidad de formar puentes de hidrógeno y su reactividad química.

### 4. EL AGUA LÍQUIDA:

**Estados del agua:** El agua es la única sustancia natural que, en condiciones estándar de presión y temperatura, aparece como un equilibrio entre los estados sólido, líquido y gas. El gas es una colección de moléculas de agua aisladas y no presenta demasiado interés. El sólido, el hielo, adopta una estructura cristalina en la que cada

nos protege frente a la deshidratación y nos proporciona un mecanismo para refrigerarnos mediante el sudor. Por otra parte, el agua tiene



un calor específico muy alto lo que influye considerablemente en el clima global de la Tierra, ayuda a mantener estable la temperatura corporal de los seres vivos y convierte al agua en un eficaz refrigerante industrial. El agua es un potente disolvente. Las sustancias que se disuelven en ella se denominan hidrófilas y las que no lo hacen hidrófobas. Para que una sustancia se disuelva en agua, sus moléculas deben establecer con el agua interacciones nuevas que compensen las que formaban entre sí las moléculas de agua entre las que se intercalan. Las sustancias que no pueden hacer eso son expulsadas del seno de la disolución.

**Modelos simplificados del agua:** Algunas propiedades del agua se pueden describir con bastante precisión usando modelos simplificados de su geometría y distribución electrónica pero la falta de un buen modelo general del agua líquida constituye un freno para el estudio de muchos fenómenos biológicos de gran importancia a priori susceptibles de simulación computacional.

**“El estado sólido de casi todas las cosas es más denso que su estado líquido. Sin embargo, el hielo flota.”**

molécula forma 4 puentes de H con otras tantas moléculas vecinas. El líquido es inodoro, insípido y, en pequeña cantidad, incoloro. Es sorprendente que el agua sea líquida en condiciones estándar de presión y temperatura porque los elementos que rodean al oxígeno en la tabla periódica (N, P, S, Cl, F) forman con el H compuestos gaseosos en esas condiciones. El comportamiento especial del agua se debe a la fortaleza de los puentes de H que establecen entre sí sus moléculas. La polarización convierte al agua en una molécula social, aunque bastante xenófoba.

### El agua es extraña, afortunadamente:

El agua presenta numerosas anomalías. El estado sólido de casi todas las cosas es más denso que su estado líquido. Sin embargo, el hielo flota. Así, los lagos no se hielan del todo en invierno. Además, antes de congelarse, el agua que se enfría en la superficie, aumenta de densidad y se hunde transportando oxígeno a las profundidades. Otra anomalía del agua es que tiene puntos de fusión y evaporación muy altos. Si el agua fuera “normal” sería un gas a temperatura ambiente. Además su calor de vaporización es muy elevado, lo que

### 5. OTRAS VIDAS, OTROS DISOLVENTES:

**¿Disolventes alternativos?:** ¿Es posible la vida sin agua? La imaginación de científicos y escritores ha tratado de concebir alternativas a la bioquímica terrestre. Así, el amoníaco ha sido propuesto como disolvente alternativo. Sin embargo los puentes de H del amoníaco líquido son mucho más débiles que los del agua por lo que el efecto amonifóbico que podría ejercer sería escaso. Otra alternativa sería el dióxido de carbono cuasi-líquido que aparece a altas presiones como las que se encuentran en Venus o Neptuno, pero su química no se parece a la del agua.

**Otras bioquímicas:** en la bioquímica terrestre, el C desempeña un papel esencial formando el esqueleto de las biomoléculas. Se ha propuesto que el B, el N o el Si podrían ser alternativas. Pero el B es muy escaso y su química muy diferente, el N tiende a formar moléculas diatómicas y el Si, al oxidarse, forma un compuesto sólido, de difícil excreción. Es de agradecer que todos estos obstáculos no hayan acobardado a los escritores que han imaginado criaturas de silicio que excretan ladrillos, nubes interestelares pensantes, burbujas gaseosas o vida artificial, como los robots.

### 6. NECESIDAD DE AGUA DE LOS SERES VIVOS :

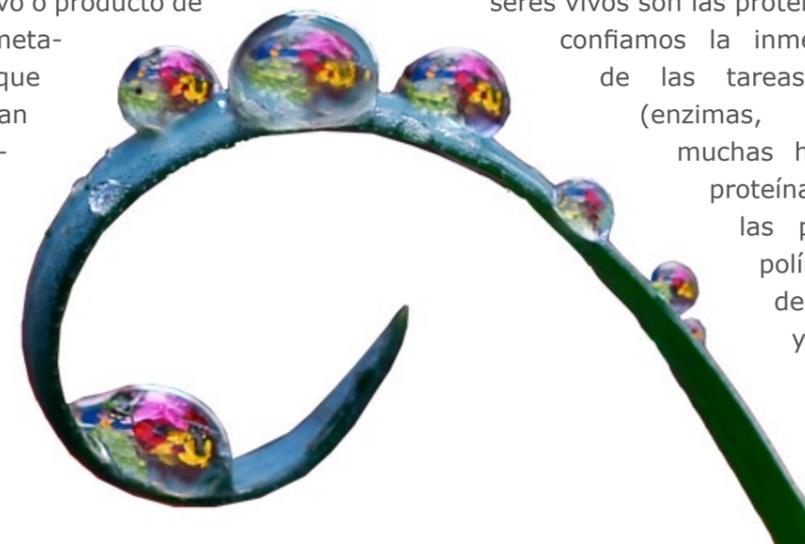
**El agua en los seres vivos:** El agua es su disolvente esencial. Es el transportador y distribuidor de nutrientes, metabolitos, y otras sustancias, y el vehículo de eliminación de productos de deshecho. Es reactivo o producto de muchas reacciones metabólicas esenciales en que se sintetizan o degradan los principales polímeros biológicos o se obtiene energía, como la fotosíntesis y la respiración celular. Actúa como lubricante de estructuras

corporales, como amortiguador de golpes, es un eficaz termorregulador, etc. En personas adultas, el agua representa entre el 65 y el 75% del peso. Cada molécula de agua reside en nuestro cuerpo unas 2 semanas y cada día remplazamos unos 2.5 litros de agua, bebiendo y con la comida. El cuerpo humano excreta agua de múltiples formas: en la orina, sudor, suspiros y heces, principalmente. Como es sabido, una persona no puede pasar más de unas 100 horas sin tomar agua. La importancia de los papeles que el agua desempeña en los seres vivos es innegable y basta para situarla en el centro de la vida. Sin embargo, la relación del agua con los seres vivos es más profunda y su íntima naturaleza sólo se comprende a partir del efecto hidrófobo.

**El efecto hidrófobo:** Al añadirle un compuesto hidrófobo, la red de moléculas de agua que lo rodea se expande. Las interacciones entre el soluto y las moléculas de agua son favorables, pero la entropía del sistema disminuye porque las moléculas de agua se ordenan. Este cambio entrópico desfavorable hace que el proceso presente un cambio de energía libre positivo y sea desfavorable por lo que las sustancias hidrófobas (el aceite por ejemplo) presentan baja solubilidad en agua. Para minimizar este efecto, el agua reduce su superficie de contacto con las moléculas hidrófobas por el sencillo procedimiento de agruparlas.

### Contribución del agua a la estructura de las proteínas:

Las moléculas esenciales de los seres vivos son las proteínas, a las que confiamos la inmensa mayoría de las tareas bioquímicas (enzimas, anticuerpos, muchas hormonas son proteínas,..). Todas las proteínas son polímeros lineales de aminoácidos y, en su forma desplegada inicial, son



## “Agua y Vida”, por Javier Sancho

extraordinariamente flexibles. A pesar de ello, se pliegan espontáneamente adoptando en milisegundos formas tridimensionales bien definidas que dependen de la secuencia concreta de aminoácidos.

Este proceso prodigioso está dirigido por el agua cuya alta cohesión empuja a los aminoácidos hidrófobos a reunirse, haciendo que la proteína se compacte. Durante el plegamiento, los grupos polares que necesariamente son arrastrados al interior se organizan para formar entre ellos puentes de H que definen la estructura tridimensional y compensan los puentes de H que la proteína formaba con el agua antes de comenzar la reacción. Para que la reacción sea rápida, su paisaje de energía debe tener forma de embudo y las barreras de energía entre conformaciones deben ser pequeñas.

de cada una de las 20 ó 30.000 proteínas distintas que nos componen determina su capacidad de reconocer y, en su caso, reaccionar con otras moléculas biológicas (pequeñas moléculas, otras proteínas o los mismos genes).



Las moléculas de agua ordenadas en la superficie de las biomoléculas intervienen a menudo en el proceso de reconocimiento. Para comprender cómo funcionan nuestras células es necesario conocer la estructura de cada una de estas proteínas y las asociaciones que forman entre sí. Tanto lo uno como lo otro podría predecirse a partir de la secuencia de aminoácidos (fácil de conocer) mediante cálculos computacionales, y en este terreno se están produciendo avances importantes. La dificultad principal para conseguirlo es la carencia de modelos sencillos y precisos del agua y de las fuerzas que establece con los átomos de las proteínas.

Igualmente, mediante cálculos computacionales, es posible diseñar moléculas que se unan en un determinado punto de la superficie de una proteína diana ya sea para inactivarla, o para estabilizarla si presenta una mutación genética

causante de una enfermedad. También la estructura de la doble hélice de ADN, la molécula que contiene los genes, depende en buena medida del efecto hidrófobo ejercido por el agua.

### **Contribución del agua a la formación de la frontera celular:**

El agua hace todavía otra cosa extraordinaria por nosotros. La característica esencial de todos los seres vivos es su organización en células que constituyen su frontera y confinan sus moléculas. Los más pequeños constan de una sola célula. Los mayores estamos compuestos por muchas células especializadas. La frontera de las células es la membrana celular y está formada por lípidos que tienen una parte hidrófila y otra hidrófoba. En contacto con el agua, estos lípidos se organizan espontáneamente dando lugar a una doble capa en cuyo interior ocultan sus partes hidrófobas, dejando las caras externas en contacto con el agua sus partes hidrófilas.

Así se construye una estructura cerrada en la que quedan contenidas las biomoléculas celulares, las proteínas, los ácidos nucleicos, etc. El efecto hidrófobo del agua consecuencia de la gran cohesión del agua líquida, ha resultado esencial para la aparición y evolución posterior de las células. Aunque las membranas son en principio impermeables, algunas proteínas se ubican en ellas y actúan transportando materia entre el interior y el exterior celular. La simulación computacional de estos procesos es todo un reto.

### **7. FINAL:**

El agua influye en nuestras vidas de muchas maneras. Constituye más de la mitad de nuestro cuerpo y sin ella morimos en pocos días. En todos los seres vivos actúa como disolvente, como reactivo y como producto. Pero lo más singular es que da su forma a cada proteína, a los ácidos nucleicos y a cada una de nuestra células. Y la forma es la función.

Al margen de las imaginaciones de científicos y escritores, la vida que conocemos no es posible

sin agua. Por eso la Humanidad envía naves espaciales a la luna, a Marte y más allá en busca de agua. Urge comprender la estructura del agua y su relación con las moléculas biológicas y las estructuras que se construyen con ellas para poder entender la estructura de la vida y aprender a cuidar de ella y a repararla cuando sea necesario.

La fascinación del ser humano por el agua es, en el fondo, puro narcisismo.

Javier Sancho.

**“La vida que conocemos no es posible sin agua. Por eso la Humanidad envía naves a la luna y más allá en busca de agua.”**



**“El agua influye en nuestras vidas de muchas maneras. Constituye más de la mitad de nuestro cuerpo y sin ella morimos en pocos días.”**

Se ha propuesto que el agua actúa como lubricante contribuyendo a suavizar las barreras de energía. Las interacciones de las proteínas con el agua son también esenciales para estabilizar la estructura funcional final.

El cambio de energía libre de plegamiento es ridículamente pequeño (en torno a 40 kJ/mol) y en él se compensan la disminución de entropía de la proteína, el aumento de entropía del agua y miles de interacciones entre los átomos de la proteína y las moléculas de agua que la rodean. La baja estabilidad de las proteínas explica que, en ocasiones, una simple mutación genética se traduzca en una proteína defectuosa cuyo mal funcionamiento causa enfermedad. La forma y distribución de carga de la superficie