

# El agua y la vida

*“El Agua es el primer principio para lavar impurezas y hacer crecer la vida”*

Fundamento de la religión de los “Templos de Agua” o “Agama Thirta” de la isla de Bali.

## El agua líquida en el universo

El agua líquida no es una sustancia común en el cosmos. Si bien sus elementos constituyentes, el hidrógeno y el oxígeno, son abundantes, y sus combinaciones bajo la forma de agua sólida, el hielo, o gaseosa, el vapor de agua, también lo son, el agua líquida sólo es estable en condiciones restringidas de temperatura y presión.

El hidrógeno es el gas más abundante del universo, probablemente constituye 99% de toda su materia. El oxígeno, si bien es mucho menos común, representa gran parte de la corteza sólida de los planetas conocidos. Cuarenta y cinco por ciento de la masa y noventa por ciento del volumen de las rocas terrestres es oxígeno y se le encuentra en proporciones parecidas en las cortezas sólidas de La Luna, Marte, Venus y otros astros del sistema solar. Ello no quiere decir que las atmósferas planetarias sean ricas en oxígeno libre. Por el contrario, debido a su actividad química, este gas se combina con otros elementos formando múltiples compuestos (óxidos, sales oxigenadas y por supuesto agua).

Los minerales más comunes de las rocas terrestres (feldespato y cuarzo) contienen una proporción elevada de átomos de oxígeno<sup>2</sup>. También presentan altos porcentajes de este elemento los carbonatos<sup>3</sup> y sulfatos<sup>4</sup>: El dióxi-

do de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), los compuestos fundamentales de la vida, están igualmente basados en él.

Con la única excepción de La Tierra, las atmósferas planetarias conocidas no contienen oxígeno libre. En nuestro caso, su presencia se debe a la actividad biológica. En ese sentido, La Tierra posee una doble anomalía, la importante proporción de oxígeno (bajo la forma molecular diatómica:  $\text{O}_2$ ) y el rol central de la vida como fenómeno determinante de su dinámica físico-química.

Una tercera anomalía, que es en cierto modo la causa de las anteriores, es la abundancia del agua en estado líquido, generalmente localizada a lo largo del contacto entre la litosfera y la atmósfera.

La Tierra es el único planeta conocido con una hidrosfera bien desarrollada en contacto con la envoltura gaseosa de su atmósfera.

## No hay vida sin agua

La presencia generalizada de agua líquida en nuestro planeta ha permitido la implantación y desarrollo de los procesos vitales, cosa que no ha sido, hasta ahora, identificado en ningún otro astro.

La vida está intrínsecamente relacionada con el agua. El ADN, gigantesca molécula que constituye la base de todos los organismos conocidos, requiere, para su metabolismo y reproducción, estar en contacto con una solución acuosa de características apropiadas.

La mayoría de los organismos viven en el agua, y los que no lo hacen, llevan consigo su propio microambiente acuoso.

En resumen, en este mundo, la vida no puede existir sin agua líquida. Recíprocamente, en los lugares en donde hay agua líquida, se dan las condiciones para el desarrollo de los procesos vitales.

No sabemos si hay grandes volúmenes de agua en estado líquido en otros planetas. Tal vez haya agua subterránea (“acuíferos”) en Marte o La Luna y hay indicios de océanos de agua cubiertos por una espesa capa congelada en algunas de las lunas de Júpiter<sup>5</sup>. Dadas las temperaturas y condiciones de presión extremadamente bajas de estos astros, no es muy probable que se hayan desarrollado procesos vitales generalizados y mucho menos una situación “biosférica” como la que existe en La Tierra.

En nuestro planeta, la vida “adeénica”<sup>6</sup> ha colonizado prácticamente todos los ambientes acuáticos. Hay organismos vivos en las hirvientes emanaciones hidrotermales del fondo de los océanos, en las gotas de agua condensadas de las nubes troposféricas y en las aguas de fusión de los *inlandsis* antártico y groenlandés.

Aún en las regiones más secas, donde la humedad atmosférica no excede nunca 20 o 30%, como ciertas zonas del Sahara en Africa o el Rub' al Khali de Arabia, existen numerosas formas de vida adaptadas a esa situación (p. ej. plantas freatófitas, invertebrados, reptiles, mamíferos, microorganismos variados) que “transportan” sus soluciones acuosas protegidas de la sequedad exterior por membranas, cáscaras, pieles, costras u otros materiales aislantes.

Esta colonización generalizada del medio acuoso líquido hace difícil diferenciar el agua de la vida.

De allí que podamos afirmar que, en La Tierra, el agua líquida y la vida constituyen un complejo inseparable.

## La vida es información

Como señalábamos antes, la vida se basa en la molécula del ADN, en donde están contenidas las “instrucciones” para el desarrollo de las actividades metabólicas vitales y la reproducción de los organismos.

El ADN presenta una flexibilidad informacional que le permite reproducirse superando en cada nueva generación los inconvenientes funcionales de las generaciones pasadas: una propiedad que podemos llamar: adaptabilidad.

El ADN es una molécula muy larga, que se enrolla en el interior de los microorganismos y núcleos celulares. Su dimensión longitudinal es cientos de miles de veces mayor que la transversal. La longitud del ADN de cada célula humana es de 2 metros. Si se sumara la longitud del ADN de todas las células de una sola persona ( $10^{13}$ ) se podría rodear la circunferencia terrestre 500,000 veces.

El genoma humano contiene 3,400 millones de bytes de información, por lo que se puede estimar la información genética de todas las células de un solo individuo de la especie en más de  $10^{24}$ .

Los demás organismos complejos poseen masas de información análogas. Incluso las especies más simples, como las bacterias, tienen varios millones de bytes en su código genético. Estas cifras permiten aquilatar el incommensurable volumen de información contenido en los entes vivos.

En un  $\text{cm}^3$  de agua suelen pulular de miles de organismos (por ejemplo protozoarios, bacterias, virus) con varios millones de bytes de información cada uno. En una sola gota de agua, por lo tanto, hay millones de unidades de información. Si pensamos en el volumen total de agua que existe en la superficie del planeta (superior a los 2,000 millones de quilómetros cúbicos) podremos vislumbrar la apabullante cantidad de información que está contenida en la hidrosfera terrestre.

Por esa razón, a la afirmación anterior de que “el agua es vida”, podemos agregar que “la vida es información”, y que por lo tanto, “el agua es información”.

## La química del agua

El agua está constituida por moléculas simples formadas por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno.

El oxígeno es un átomo relativamente grande (radio iónico:  $1.40 \text{ \AA}^7$ ) con ocho protones en su núcleo (número atómico: 8) y ocho electrones en dos niveles orbitales. En el primer nivel orbital hay dos electrones que es su máxima capacidad y por tanto está colmatado. El segundo nivel contiene seis electrones cuando el átomo se encuentra en estado neutro. Como la capacidad del nivel es de ocho, pueden alojarse dos electrones más, en cuyo caso el átomo se carga negativamente en dos unidades (-2).

Por su parte, el hidrógeno es un átomo muy pequeño que en estado neutro está formado por un protón y un electrón. En estado iónico (o sea, al perder el electrón y cargarse positivamente), su radio disminuye considerablemente hasta alcanzar la dimensión de un protón. En ese estado el catión H es miles de veces menor que el anión O. Cuando se combina con el oxígeno, su “radio iónico” puede ser considerado negativo ( $-0.38 \text{ \AA}$ ).

Debido al enorme tamaño relativo del oxígeno y a la pequeñísima dimensión del núcleo de hidrógeno, la molécula de agua es, aproximadamente, del mismo tamaño que el átomo de oxígeno (radio iónico:  $1.55 \text{ \AA}$ ).

Los dos iones H quedan sumergidos en la nube electrónica (principalmente controlada por el núcleo del oxígeno) dando lugar a una configuración tetraédrica. En dicha estructura, el núcleo del oxígeno ocupa el centro del tetraedro, los dos núcleos (protones) de hidrógeno ocupan dos vértices y las nubes de carga negativa, los vértices restantes (Gerstein y Levitt, 1998).

El ángulo entre los dos enlaces O-H es de  $105^\circ$ , ligeramente menores que los  $109.5^\circ$  de un tetraedro perfecto.

Debido a la ubicación del átomo de oxígeno y la nube electrónica que lo rodea (con carga débil negativa) en una dirección, y los dos átomos de hidrógeno (con carga débil positiva), en dirección opuesta, la molécula de agua asume características polares.

Dos moléculas de agua contiguas tienden a atraerse enlazando el extremo positivo de una molécula con el negativo de la otra. Este enlace es habitualmente denominado “enlace hidrógeno”.

Cada molécula de agua puede formar (y normalmente lo hace) cuatro enlaces-hidrógeno con otras tantas moléculas de agua vecinas. Dos de esos

enlaces son entre sus hidrógenos y los átomos de oxígeno de otras dos moléculas de agua, y los otros dos entre su átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno de otras moléculas cercanas<sup>8</sup>.

A diferencia de los cristales de hielo, que tienen una perfecta geometría tetraédrica, el agua líquida tiene una geometría bastante irregular.

Las moléculas de agua forman “enlaces-hidrógeno” entre sí, pero también pueden formarlos con otras moléculas polares, como ácidos, sales, azúcares y varias regiones moleculares de las proteínas y en el propio ADN.

Estas sustancias que se combinan polarmente con el agua y/o disuelven en ella son denominadas hidrófilas.

En cambio, las moléculas no-polares (como las grasas), que no forman enlaces hidrógeno con el agua, ni se disuelven en ella, son denominadas hidrófobas.

Las proteínas y el ADN son moléculas que contienen a la vez componentes hidrófobos e hidrófilos enlazados en largas cadenas tridimensionales. En éstas, los elementos hidrófilos se localizan en la superficie, donde pueden interactuar con el agua, mientras que los hidrófobos permanecen en las zonas más profundas de la estructura, lejos del agua.

De esa forma estos componentes parecen actuar como factores de estabilidad estructural, frente al rol más dinámico de la porción superficial hidrófila.

Cualquier célula contiene por lo menos varios miles de millones de moléculas de agua. Es en esa enorme cantidad de unidades moleculares que tienen lugar los procesos biológicos.

El agua es un componente integral del ADN. Los primeros modelos que se intentaron de la molécula del ADN en el vacío fracasaron debido a que las fuerzas repulsivas existentes entre los grupos fosfatados, cargados negativamente, daban lugar a la fractura casi inmediata de la molécula (en esas condiciones, su estabilidad no supera los 50 picosegundos).

Modelos ulteriores<sup>9</sup>, en los que se incluyeron moléculas de agua alrededor y dentro de las anfractuosidades del ADN, permitieron una mayor estabilización de la estructura en doble hélice (hasta 500 picosegundos).

En investigaciones más recientes se pudo comprobar que las moléculas de agua puedan interactuar con todos los elementos superficiales de la doble hélice, incluyendo los pares de bases que constituyen el código genético.

Se ha comprobado además que las moléculas de agua no pueden penetrar en profundidad, y por tanto no llegan hasta la estructura central constituida por elementos hidrófobos.

En la superficie de las proteínas existen entrantes estrechas en donde las moléculas de agua enlazadas tienen dificultad para introducirse. Es en estos

surcos que se produce la interacción entre las enzimas y las moléculas ligantes. Otros estudios recientes han permitido constatar que la configuración de las moléculas de agua en un sitio activo imita la geometría y estructura de la molécula ligante propiamente dicha.

Esta capacidad de imitación de otras moléculas que tiene el agua es probablemente la base física de la homeopatía, disciplina medicinal alternativa que se basa en el tratamiento de enfermedades mediante el uso de sustancias extremadamente diluidas en agua. En las preparaciones homeopáticas se hace desaparecer el soluto casi completamente, quedando solamente el agua. A pesar de ello, en algunas de ellas parece conservarse, de algún modo, la memoria de la sustancia que ha estado disuelta.

Estos procesos son poco conocidos a nivel analítico e impugnados en el mundo académico. Sin embargo existe una prolongada utilización empírica en muchas partes del mundo que es indicativa de la existencia de estas propiedades.

## El agua genera información

El agua no sólo contiene información, sino que, al fluir por encima y a través de la corteza, va generando sus propias huellas en los materiales sólidos con los que entra en contacto. En su movimiento produce micro-relieves negativos que luego pueden ser utilizados por el agua misma en circunstancias ulteriores.

Cuando llueve sobre un suelo desprotegido, las primeras gotas producen un barnizado que impermeabiliza la superficie del terreno. Debido a ello las gotas subsiguientes no pueden infiltrarse y comienzan a escurrir ladera abajo. En las cimas el volumen de agua es pequeño, pero a medida que corre hacia las zonas más bajas, el caudal aumenta, debido a la tendencia del agua a concentrarse en las zonas más deprimidas.

Esta concentración facilita su efecto erosivo, creándose surcos de profundidad variable, que son los rastros del recorrido del agua en su camino hacia los valles.

Cuando cesa la lluvia, el paisaje conserva las marcas del flujo hídrico a modo de registro de los episodios pluviales ocurridos.

Si las nuevas lluvias demoran mucho, o son muy esporádicas, estos registros pueden ser borrados por la vegetación, las pisadas de los animales o capas de depósitos eólicos, como las dunas o el loess.

En muchos casos, los surcos producidos por el agua sobreviven, y al llover nuevamente, el agua profundiza aún más los antiguos canales, asegurando que las próximas precipitaciones continuarán fluyendo a través de dichos cauces.

La información contenida en el drenaje es utilizada y acentuada por el agua que corre en su camino a los valles y mares. En ese sentido, éste constituye una compleja memoria morfológica de la historia hídrica de los paisajes.

Del mismo modo que el agua genera rasgos geomorfológicos superficiales “legibles” por los sucesivos eventos hídricos, también introduce modificaciones en las formaciones geológicas a través de las cuales circula en forma subterránea.

Así, ciertas zonas de mayor permeabilidad pueden verla aumentada aún más, debido a la disolución y arrastre de sales u otras sustancias que ocasionaban un obstáculo al flujo subterráneo.

En zonas de fisuras, el paso continuo de agua puede producir un ensanchamiento de las mismas, aumentando aún más su permeabilidad, el caudal y la capacidad de disolución.

A partir de un cierto ancho de los sistemas de oquedades y fracturas, la velocidad del flujo empieza a tener efectos mecánicos sobre las paredes, techo y piso de los conductos, acelerando el proceso.

Las huellas geológicas del flujo subterráneo anterior condicionan el flujo futuro.

Para el conocimiento de las historias hídricas locales, es importante saber “leer” e interpretar estos códigos, tanto superficiales como subterráneos.

Estos no son registros separados, sino complementarios, reflejando no sólo los fenómenos del sitio, sino también las interrelaciones entre los dos dominios (superficial y subterráneo). Ejemplos de ello son los manantiales (zonas de descarga de los acuíferos) y las dolinas y cenotes (zonas de recarga) (ver capítulos 5 y 7).

## **Somos dependientes del agua**

Los seres humanos, como todos los demás organismos vivos, somos absolutamente dependientes del agua. Nuestros sistemas fisiológicos necesitan un medio acuoso, tanto para las actividades metabólicas como las reproductoras celulares y específicas.

El cuerpo humano es en sí una compleja solución acuosa protegida en forma parcial por la piel y otros elementos protectores.

El agua es el medio necesario para la ingestión, digestión y absorción de los alimentos, para la circulación del oxígeno de la respiración dirigido a las células y para la evacuación de los productos residuales de la actividad celular, tanto los gaseosos (por ejemplo el  $\text{CO}_2$ ), como los líquidos y sólidos.

Pero el agua no sólo se requiere para el desarrollo de los procesos meta-

bólicos internos y de reproducción celular. Su presencia es también indispensable para que sobrevivan las plantas y otros animales que sirven de alimentación y sustento a las sociedades humanas.

Por esa razón, a medida que se formaron las culturas humanas, el agua fue un elemento central de las mismas.

Así, los seres humanos desarrollaron comportamientos que tenían en cuenta en forma principal, la presencia del agua y sus ciclos: la evaporación, las nubes, las lluvias, el consumo vegetal y animal de agua, los manantiales, los humedales, los ríos, los lagos y finalmente los océanos.

En cierto modo, se pueden caracterizar las culturas humanas de acuerdo a la forma como conciben y tratan los diferentes componentes y fases del ciclo hídrico (ver capítulo 15).

Estas creencias y comportamientos han sido y son elementos esenciales definitorios de las culturas humanas a lo largo de la historia.

## Referencias

1. Lansing, J. Stephen, 1987, *Religion and irrigation in Bali*; *American Anthropology*, p. 89, 1987.
2. La proporción de átomos de oxígeno en los feldespatos ( $\text{Si}_{(2,3)}\text{Al}_{(1,2)}\text{K, Na, O}_8$ ) es 8/13 y en el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) es 2/3.
3. Sobre todo carbonatos de calcio, magnesio y potasio ( $\text{Ca, Mg, K}_{1-2}, \text{CO}_3$ ).
4. Sulfatos de calcio, sodio, potasio y magnesio ( $\text{SO}_3, \text{Ca, Na, K, Mg}_{(1,2)}$ ).
5. Sobre todo en el satélite joviano llamado Europa (no confundir con el continente), y tal vez en algunas otras lunas de Júpiter como Ganímedes y Calisto.
6. Neologismo a partir del ADN
7.  $1 \text{ \AA} (\text{angstrom}) = 10^{-10}$
8. Para redactar esta sección nos hemos basado sobre todo en el trabajo de Mark Gerstein y Michael Levitt titulado "Simulating water and the molecules of life" en *Scientific American*, Noviembre de 1998, pág. 100-105.
9. Por ejemplo, el modelo realizado por Levitt y Miriam Hirshberg del National Institute for Medical Research en Londres a fines de la década de 1980.