



*EDITORIAL*

*Contender con el estrés hídrico  
del planeta, un reto científico,  
tecnológico y político*

*tecnológico y político*

## EDITORIAL

# CONTENDER CON EL ESTRÉS HÍDRICO DEL PLANETA, UN RETO CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO Y POLÍTICO

**E**l agua es la molécula más abundante en la superficie de nuestro planeta. El 5% de la masa de la corteza terrestre es agua; se encuentra en todas partes en forma líquida, sólida (hielo) o gaseosa (vapor), es esencial para la atmósfera y crucial para la vida. Existen organismos que pueden vivir sin oxígeno, pero no conocemos a ninguno que pueda vivir sin agua. Su abundancia y amplia distribución generaron el calificativo de “planeta azul” gracias a los grandes océanos, mares, lagos, lagunas y ríos, mismos que ocupan el 70% de la superficie terrestre, y a que la vista que se tiene de la Tierra desde el espacio es la de una impresionante esfera azul. Pero su importancia va más allá de la abundancia: sin agua, la vida en este planeta no hubiera podido aparecer, desarrollarse, sostenerse y seguir evolucionando.

El agua es una molécula muy pequeña, un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno ( $H_2O$ ), apenas con un peso molecular de 18 Daltons, nada comparado con una molécula de hemoglobina cuyo peso molecular es 64,000 Daltons. Muchas de las características del agua dependen de que las moléculas se pueden estructurar entre ellas gracias a que la propia molécula tiene polaridad. Esto genera dos cargas parciales negativas hacia el oxígeno, por la atracción de los electrones hacia este átomo que es más electronegativo y deja una carga parcial positiva a cada hidrógeno. Esto permite que cada molécula de

agua se estructure con otras moléculas de agua acercándose con sus hidrógenos a los oxígenos de otras moléculas de agua y así sucesivamente hasta formar una estructura tipo cristal gracias a los llamados puentes de hidrógeno.

Estas estructuras se rompen y vuelven a formar a grandes velocidades (nanosegundos), lo que provoca que el agua esté en su forma líquida. Si bajamos la temperatura, estas estructuras se hacen más estables y reclutan a más moléculas; una vez que llegamos a la temperatura de solidificación (congelación), el agua toma su forma sólida (hielo); si aumentamos la temperatura, el hielo pasa a líquido (punto de fusión). Si se continúa aumentando la temperatura, las estructuras se hacen más débiles y se reclutan menos moléculas, hasta que se alcanza la temperatura de ebullición, donde el agua acelera notablemente su forma de vapor porque la molécula ya no se estructura con ninguna otra molécula y se convierte en gas. Es importante mencionar que la formación de vapor sucede a cualquier temperatura y presión, pero se acelera notablemente en el proceso de ebullición que se da con altas temperaturas y bajas presiones; de igual forma, al disminuir la temperatura, el vapor de agua se hace líquido (condensación).

En nuestro planeta, el 2 % del agua se encuentra en forma de hielo, la gran mayoría está en forma

líquida, pero con un intenso recambio con el vapor. Gracias al ciclo evaporación-precipitación se presentan 107,000 Km<sup>3</sup> de lluvia por año y el agua total en la atmósfera se recicla completamente aproximadamente cada 10 días. Lo malo es que su distribución no es homogénea y la mayor parte de las precipitaciones cae en el mar.

También la estructuración del agua, su polaridad, y los puentes de hidrógeno permiten que el agua sea un disolvente, es decir, que en ella se puedan disolver muy diversos compuestos, a los que llamamos solutos polares. Estos solutos son de lo más diverso, tienen diferentes capacidades de disolución, tamaños, cargas y estructuras químicas. Esta capacidad de disolución del agua es una de sus características para permitir la vida, pero se puede convertir en dañina si lo disuelto es un tóxico o una toxina o cuando las cantidades disueltas de un compuesto son tan grandes que se convierte en perjudicial. En el agua también pueden vivir microorganismos y organismos más complejos, incluyendo grandes peces y mamíferos. Algunos microorganismos pueden ser nocivos y causar infecciones o producir toxinas al entrar en contacto con la piel o pueden ser ingeridos por otros organismos, incluyendo a los humanos y causar enfermedades e incluso la muerte.

El ejemplo de la sal común (cloruro de sodio) es muy ilustrativo. En nuestro plasma sanguíneo tenemos 9 g/L, mientras que en el agua de mar hay 32 g/L. Para los humanos, tener menos o más de 9 g/L en el plasma causa enfermedad y tener 32 g/L es mortal; es más, consumir agua con 32 g/L también sería mortal; por esta razón se debe desalinizar el agua de mar para poderse consumir. La llamada agua dulce contiene menos de 3 g/L. El problema es que en el planeta el agua dulce es muy escasa, sólo el 2.5%; el resto es agua salada y aún peor, el 1.9% del agua dulce está en glaciares y casquetes polares, el 0.5% está en aguas subterráneas y sólo el 0.02% está en aguas superficiales: lagos, lagunas, ríos y embalses.

Adicionalmente, el agua dulce no sólo tiene disuelto cloruro de sodio, también contiene múltiples compuestos, algunos de los cuales pueden ser tóxicos, por lo que a los escasos porcentajes de agua dulce que se pueden extraer (0.52% considerando las fuentes subterráneas) debemos agregar que ésta puede estar contaminada, por ejemplo, con arsénico, cadmio, mercurio o plomo y por organismos patógenos, por lo que se requiere de procesos complejos para convertirla en agua dulce potable, es decir satisfactoria para su consumo.

La vida depende del agua, no sólo porque en ella se disuelven los nutrientes y los compuestos de dese-

cho, sino también porque permite la estructuración en fases lipídicas que dan origen a las membranas celulares y con ello forma medios internos y externos como la membrana plasmática o la mitocondrial, entre otras. También gracias al ambiente acuoso se llevan a cabo eficientemente reacciones enzimáticas como el transporte, la señalización intra y extracelular y, por supuesto, la generación de energía.

El agua cumple un ciclo entre los organismos autótrofos y heterótrofos. Los autótrofos, gracias a la energía de la luz, rompen el agua para obtener electrones y protones que después utilizan para obtener energía (ATP) y cofactores reducidos (NADH y NADPH). Esto les permitirá, junto con el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), generar macromoléculas para su funcionamiento y crecimiento. Un producto adicional en esta ruptura de la molécula de agua es el oxígeno (O<sub>2</sub>), que es liberado al medio. Los organismos heterótrofos, como los humanos, consumen alimentos cuyos nutrientes se disuelven en el agua, los rompen en el proceso de digestión, que requiere agua, los absorben, donde también interviene el agua, los distribuyen y redistribuyen a los diferentes órganos a través de sistemas acuosos y, junto con el agua intracelular, generan el crecimiento y las funciones propias de cada célula.

Para obtener energía, las células deben oxidar los nutrientes, obteniendo CO<sub>2</sub> como producto final y, como punto culminante, en la cadena respiratoria protones, electrones y O<sub>2</sub> forman agua y se obtiene la energía quimiosmótica que dará lugar a la síntesis de ATP. Con lo anterior se cierra el ciclo de los autótrofos consumiendo agua y CO<sub>2</sub> y generando macromoléculas (nutrientes) y O<sub>2</sub>, mismo que emplearán los heterótrofos como alimento y oxidantes, que a su vez producen CO<sub>2</sub> y agua que utilizarán los autótrofos.

Lo descrito anteriormente son sólo unas cuantas funciones del agua en los organismos; el agua está involucrada en muchas más: la osmolaridad, el pH, la fuerza iónica, los gradientes de concentración, los potenciales de membrana, la transmisión nerviosa, la contracción, la eliminación de desechos por la orina o las heces, el sudor, por mencionar algunas.

En el humano, se requiere la ingesta de entre 2.5 y 3.5 L de líquidos al día, cantidad que considera cualquier bebida acuosa y el agua derivada de los alimentos (aproximadamente el 20%). Estos valores pueden incrementarse dependiendo de la masa corporal, las actividades, la temperatura del ambiente y la presencia de condiciones fisiológicas y fisiopatológicas particulares.

El agua dulce es sin duda un recurso básico e insustituible para el desarrollo de la humanidad, por lo que no es gratuito que las grandes civilizaciones se establecieron a las orillas de ríos como el Tigris, Éufrates, Nilo, Ganges, Volga, Huang He, Congo, Lena, Sena solo por nombrar algunos, o lagos como el Tanganica, Hurón, Malawi, Caspio, Victoria, Del Oso, Baikal, Michigan, entre muchos otros.

Se mencionó que la distribución de agua dulce es muy limitada y heterogénea. Hay zonas desérticas en Egipto que reciben 18.1 mm de lluvia al año, en contraste con la selva colombiana que tiene 3,240 mm; así, en el planeta hay lugares con lluvias escasas y otros con grandes inundaciones por desbordamiento de ríos. Como cualquier organismo, los humanos hemos dependido de las fuentes de agua para sostener las poblaciones. Sin embargo, nos encontramos actualmente ante un cambio climático que está modificando la distribución de este recurso, aumentando las diferencias y haciendo más extrema la sequía en algunos sitios y las inundaciones en otros; basta con recordar las sequías a finales de 2023 y principios de este año en España, Francia, Italia, EE. UU, sin olvidar a los países con mayor estrés hídrico: Bahrain, Kuwait, Qatar, San Marino, Singapur, Los Emiratos Árabes, Palestina e Israel. Lo anterior tarde o temprano obligará a la redistribución de las poblaciones en busca del agua disponible y la necesidad de agua generará conflictos sociales nacionales e internacionales.

En América, Chile y México son los países con mayor estrés hídrico (que se define como una demanda de agua superior a la cantidad disponible durante un periodo determinado de tiempo), sólo por debajo de países árabes claramente desérticos. México presenta grandes extensiones de su territorio en biomas desérticos o de chaparral. El estrés hídrico ya afecta a un porcentaje muy alto de la población: (10%) de 12.5 a 15 millones de habitantes no tienen acceso a agua potable y un 30% de quienes sí acceden al agua no cuentan con la cantidad ni la calidad suficiente, y el problema sigue en aumento.

En particular, la situación hídrica en México se está complicando rápidamente. Se estima que de no presentarse una fuerte temporada de lluvias para mediados de junio de este año (2024), el agua de las presas que alimentan el sistema Cutzamala se termine. Este sistema es una fuente importante que aporta el 26% del agua de la Ciudad de México y parte del Estado de México, donde viven unos 26 millones de personas. Hoy día, las presas del sistema Cutzamala están a un 39% de su capacidad.

Pero esta situación de alerta no es sólo para la región central del país; las 210 presas más importantes, que almacenan el 92% del agua disponible, se encuentran, en promedio, al 51% de su capacidad.

Estos datos, resaltan la importancia de implementar un uso racional y cuidadoso del agua. Para hacerlo, es necesario conocer cómo se emplea el agua para establecer las medidas adecuadas y no sólo acciones, que, si bien tranquilizan la conciencia social del público, son de poco impacto ante la problemática existente. Conciencia y acciones que tienen retrasos de por lo menos 50 años, cuando ya se alertaba de las consecuencias de no generar políticas públicas eficientes, tecnificar los sistemas de riego, invertir en mantenimiento de redes, diversificar las fuentes de abastecimiento y mejorar la socialización de la necesidad de utilizar el agua racionalmente; conciencia de un futuro que nos está alcanzando ahora con mayor rapidez.

En México se emplea el 14.66% del agua para uso público y urbano, esto es del orden de 13,127.77 hectómetros<sup>3</sup> (hm<sup>3</sup>), pero sólo el 0.04% tiene uso doméstico, por lo que el ahorro que se hace en casa, si bien es útil y correcto, tiene poco impacto en el balance total. Es importante mencionar que sólo cinco entidades: Michoacán de Ocampo, Estado de México, Chihuahua, Jalisco y Querétaro, consumen el 68% de ese 0.04% de uso doméstico. La acuicultura emplea el 1.31% del total nacional, y sólo Nayarit hace uso del 30.26% de ese 1.31%. El uso agrícola del agua merece una atención especial; aquí se emplea el 67.52% del recurso total (60,460.3 hm<sup>3</sup>), mientras que el uso industrial requiere el 3.07%. Hay otro uso intermedio, entre industrial y agrícola, el uso agroindustrial que es el agua empleada para la transformación agropecuaria, y sólo emplea el 0.006% del agua nacional. El comercio emplea el 0.0002%, el pecuario un 0.26%, servicios el 1.9% y las termoeléctricas el 4.57%. En total, en estos 8 sectores se consume el 93.4% del total del agua del país.

También es de importancia considerar la huella hídrica de generar alimentos naturales y derivados de las industrias, sólo unos ejemplos: generar un Kg de lechuga gasta 237 L de agua; un Kg de tomate, 214 L; una docena de huevos, 12,300 L; un L de leche, 1,000 L; 1 Kg de carne de res, 15,000 L; una botella de vino, 720 L; una *pizza*, 1,250 L y, una hamburguesa, 3,500 L. No les abrumaremos más con cifras sólo mencionaremos que la construcción de un automóvil gasta en promedio 4,000 L y un teléfono celular, 70 L. Una persona en promedio gasta 100 L de agua al día entre consumo y aseo.

Es urgente tecnificar el riego del campo en México; esto es una necesidad impostergable para tratar de amortiguar el catastrófico impacto de la sequía del país. Según el Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Levante (COIAL), Madrid España, el riego por goteo permite ahorrar del 30 al 60% del agua que se emplea por métodos de aspersión o inundación por canal, como se usa en México en gran proporción (mayor al 70%). Si consideramos que el 67.52% del agua en México se emplea en la producción agraria, el poder ahorrar el 20% de esta agua, resolvería el problema de abasto para el uso público, urbano y doméstico ya que se dispondría de 17,908.8 hm<sup>3</sup> adicionales a los 13,163.59 hm<sup>3</sup> que se requieren básicamente.

Otro punto importante sobre el que se ha llamado la atención es la vigilancia del uso del agua para la generación de energía eléctrica. Según la Agencia Internacional de Energía es posible atribuir a la producción primaria de energía eléctrica aproxima-

damente el 10 % del volumen total de extracciones de agua en todo el mundo, y de acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, se anticipa que la demanda de agua crezca hasta en un 55% para 2050, en comparación con los niveles registrados en el año 2000. Por tanto, es imperativo que los sistemas de producción, enfriamiento y conducción de energía en México se mantengan en constante modernización buscando no incrementar el consumo de agua de las termoeléctricas, el cual se ubica actualmente en el 4.57%.

El reto para atender el estrés hídrico en México y en el mundo es muy grande y no está por llegar, lo tenemos encima. Para afrontarlo, se requiere de la formación de recursos humanos de alto nivel, la aplicación de tecnologías de vanguardia y de políticas públicas enérgicas, las acciones decididas y responsables en la industria y la agricultura. Si no actuamos, será inevitable un mayor sufrimiento de las poblaciones. 

*Dr. Rafael Camacho Carranza*  
*Instituto de Investigaciones Biomédicas UNAM*  
*Editor de la REB*  
[rcamacho@iibiomedicas.unam.mx](mailto:rcamacho@iibiomedicas.unam.mx)

*Dr. José Víctor Calderón Salinas*  
*Departamento de Bioquímica Cinvestav*  
*Editor en Jefe de la REB*  
[jcalder@cinvestav.mx](mailto:jcalder@cinvestav.mx)

Carbajal Azcona A, González Fernández M. Propiedades y funciones biológicas del agua. En: Agua para la salud, pasado, presente y futuro. Vaquero y Toxqui, Eds. CSIC. 2012. ISBN: 978-84-00-09572-7. P. 33-45.

Uso del Agua en México. CONAGUA.  
<https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/UsosAgua#/publico>

Los países con mayor escasez de agua del mundo. Fundación Aquae <https://www.fundacionaquae.org/wiki/ranking-de-paises-con-escasez-de-agua/>

210 presas más importantes del país, que almacenan el 92% del agua, se encuentran al 51% de su capacidad. El Financiero.

<https://www.elfinanciero.com.mx/cdmx/2024/02/01/llego-el-dia-cero-a-cdmx-y-edomex-presas-del-cutzamala-se-estan-quedando-sin-agua/>

El nexa agua-energía en plantas termoeléctricas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

<https://www.gob.mx/imta/es/articulos/el-nexo-agua-energia-en-plantas-termoelectricas?idiom=es>