

Disponibilidad de agua para la salud y la vida. Lo que todos debemos saber

(Availability of water for health and life. What everyone should know)

Manuel Gómez-Gómez, */** Cecilia Danglot-Banck, ** Leopoldo Vega-Franco*,**

RESUMEN

El agua en su uso común hace referencia a su estado líquido, pero se halla también en forma sólida (hielo) o en estado gaseoso, como vapor; en su estado líquido el agua cubre el 71% de la superficie terrestre y de ella 97% se le encuentra en los océanos y en glaciares y casquetes polares. En los depósitos subterráneos (acuíferos), *permafrost* se estima que 2.4% del agua total y en orden decreciente, entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos, se estima que hay 0.6% del agua total. El agua circula constantemente en un ciclo en el que pasa por evaporación, transpiración, precipitación y retorno al mar. En este ciclo, los vientos la transportan tanto en vapor de agua como para ser vertida en tierra y mares en un volumen estimado de 45,000 km³ al año. En tierra firme, la evaporación y la transpiración contribuyen con 74,000 km³ anuales y por precipitaciones se calcula que hay 119,000 km³ al año. Se dice que 70% del agua dulce se emplea en la agricultura, en tanto que en la industria se usa 20% y en el consumo doméstico se emplea 10%. El agua potable, esencial para todas las formas de vida terrestre incluida la de los humanos, es indispensable para su salud y sobrevivencia. En la medida que la población humana se ha incrementado ha aumentado la necesidad de agua, porque es necesario entender su importancia para la existencia de las formas de vida que hay en la tierra y en particular la de los seres humanos; por lo que se hacen recomendaciones para ahorrar agua.

Palabras clave: Agua, ciclo del agua, necesidades de agua.

SUMMARY

Water is a composite substance that is essential for the survival of all known forms of life. In its most common use refers to liquid, but it can be found in solid form (ice) or gaseous form (steam). Water covers 71% of the Earth's surface and is mainly located in oceans which concentrates the 97% of the total water, glaciers and ice caps, underground deposits (aquifers), the permafrost and the continental glaciers are the 2.4% and in descending order between lakes, moisture from the soil atmosphere, reservoirs, rivers and living beings is distributed the 0.6%. From the physical point of view, the water circulates constantly in a cycle of evapotranspiration, precipitation, and sea scroll. Winds carry water vapor both which is poured into the seas through its course on Earth, in an approximate amount of 45,000 km³ each year. On land, evaporation and transpiration contribute 74,000 annual km³ to cause 119,000 km³ precipitation per year. It is estimated that fresh water is used in agriculture 70%, industry 20% and for domestic use 10%. Drinking water is essential to all forms of life, including the human. Water consumption has increased substantially during recent decades practically in all the Earth's surface. Finally we made recommendations about saving water.

Key words: Water; extracorporeal metabolism, liquid, ice steam, the water cycle.

El agua, probablemente es la más común de las moléculas que hay en la superficie de la tierra y en la tropósfera: es la capa de atmósfera en contacto con la superficie terrestre, incluso en áreas desérticas. Es una sustancia esencial para todas las formas biológicas cimentadas en los átomos de carbono; el agua es un ejemplo de simplicidad y a su vez de complejidad en la naturaleza. A simple vista el agua no parece ser una molécula y de hecho es miembro de la familia de moléculas químicas

* Academia Mexicana de Pediatría.

** Sociedad Mexicana de Pediatría, Maestría en Ciencias-Epidemiología UNAM.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en
<http://www.medigraphic.com/rmp>

cuya fórmula general corresponde a H_2X : donde X es un elemento de los 16 de la tabla periódica de elementos químicos donde se encuentran el oxígeno, azufre, selenio, telurio y polonio. Así, por ejemplo, si X es azufre, tenemos H_2S (ácido sulfídrico): compuesto gaseoso de olor picante y repulsivo que suele encontrarse en la red de alcantarillado.

El agua debería ser un gas, como otros compuestos del mismo grupo en la tabla; razón por la cual se le encuentra ordinariamente como líquido, ya que entre sus moléculas hay innumerables enlaces de hidrógeno que estabilizan su estructura líquida, por lo que el agua muestra tener un punto de fusión y de ebullición, más altos que otras sustancias de su misma familia química;¹ su estado líquido es el más común de sus formas físicas pero también se le encuentra en forma sólida (como hielo) o gaseosa (como vapor).¹ Como agua cubre el 71% de la

superficie terrestre² de este planeta: la mayor parte de ésta en los océanos donde se encuentra 97% del agua total en este planeta; en los glaciares, los casquetes polares y los depósitos subterráneos (acuíferos), en el permafrost, permagel o permacongelamiento o capa de hielo permanentemente congelado en los niveles superficiales del suelo de las regiones muy frías o periglaciares, como en la tundra, hay 2.4% del agua y en orden decreciente: entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y en los seres vivos se estima que se encuentra el 0.6% de la cantidad de agua restante.³ En el cuadro 1 se presenta un glosario de los términos hidrológicos.

El agua circula constantemente en la tierra en un ciclo de evaporación o transpiración (evapotranspiración), precipitación y desplazamiento hacia el mar. Los vientos transportan tanto vapor de agua que se vierte en los mares mediante su curso natural en la tierra, en una canti-

Cuadro 1. Glosario básico de términos hidrológicos.

Acuífero: Una capa o sección de tierra o roca que contiene agua dulce, denominada agua subterránea (toda agua que se almacena naturalmente bajo tierra o que circula a través de las rocas o el suelo, llenando fuentes y pozos).

Agua no renovable: El agua de los acuíferos y otros depósitos naturales que no se vuelven a llenar a través del ciclo hidrológico o se llenan tan lentamente que se agotan si se extraen apreciables cantidades de agua para uso humano. Los acuíferos fósiles pertenecen a esta categoría: se vuelven a llenar tan lentamente a lo largo de los siglos que son, en efecto, un recurso no renovable.

Agua renovable: Agua dulce que se repone continuamente por el ciclo hidrológico y puede extraerse dentro de límites razonables de tiempo, como el agua de los ríos, lagos o estanques que se llenan con las precipitaciones o la escorrentía. La capacidad de renovación de una fuente de agua depende tanto del ritmo natural de reposición como del ritmo a que se extrae el agua para uso humano.

Albedo: Es la relación, expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja sobre la radiación que incide sobre la misma.

Ciclo hidrológico: Ciclo natural por el cual el agua se evapora de los océanos y otras masas de agua, se acumula como vapor de agua en las nubes y vuelve a los océanos y otras masas de agua en forma de precipitación. Las precipitaciones que caen sobre la tierra tienen dos componentes: la escorrentía y la humedad procedente de la evapotranspiración.

Consumo de agua: Uso del agua que resulta en su evaporación o transpiración (a través de las plantas) o que de otra manera no está disponible para uso humano subsiguiente.

Entalpía de vaporización o calor de vaporización: Es la cantidad de energía necesaria para que la unidad de masa (kilogramo, mol, etc.) de una sustancia que se encuentre en equilibrio con su propio vapor a una presión de una atmósfera pase completamente del estado líquido al estado gaseoso.

Escasez de agua: Según el consenso creciente de los hidrólogos, un país tiene escasez de agua cuando el suministro anual de agua dulce renovable es inferior a 1,000 metros cúbicos por persona. Esos países probablemente experimenten condiciones crónicas y extendidas de escasez de agua que han de obstruir su desarrollo.

Escorrentía: Agua que se origina como precipitación sobre la tierra y luego se escribe por la tierra hasta llegar a los ríos, corrientes y lagos, llegando finalmente a los océanos, mares interiores o acuíferos, a menos que primero se evapore. La porción de escorrentía de la cual puede dependerse año tras año y fácilmente aprovechada por el hombre se denomina escorrentía estable.

Extracción de agua: La toma de agua dulce para uso humano de cualquier fuente o depósito natural, como un lago, río o acuífero. Si no se consume, el agua puede volver al medio ambiente y usarse otra vez.

Indlandsis: Proviene del idioma danés que significa «hielo interior» y se aplicó inicialmente a las zonas cubiertas por hielos permanentes de Islandia, Groenlandia y archipiélagos árticos. En la actualidad la palabra es usada por los geógrafos para referirse a todo campo de hielo de dimensiones continentales y que persiste durante siglos.

Permafrost, permagel o permacongelamiento: En geología se denomina a la capa de hielo congelado permanentemente en los niveles superficiales del suelo de las regiones muy frías o periglaciares como es la tundra. El permafrost se puede dividir en pergelisol, la capa helada más profunda, y mollisol, la capa más superficial que suele descongelarse.

Tensión hídrica: Un país tiene tensión hídrica cuando el suministro anual de agua dulce renovable está entre los 1,000 y 1,700 metros cúbicos por persona. Esos países probablemente experimenten condiciones temporales o limitadas de escasez de agua.

dad aproximada de 45,000 km³ al año. En tierra firme, la evaporación y transpiración de los seres vivos contribuyen con 74,000 km³ anuales; y por precipitaciones hay 119,000 km³ al año.⁴

Se estima que del agua dulce se emplea en la agricultura el 70%;⁵ en la industria 20% del consumo mundial, pues se usa como medio de enfriamiento, de transporte y como solvente de sustancias químicas. En el uso doméstico se consume el 10% del agua restante.⁶

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA

Su composición química se representa como H₂O, es decir, cómo una molécula de agua corresponde a dos átomos de hidrógeno enlazados de manera covalente a un átomo de oxígeno.

Ya en la antigua Jonia, Tales de Mileto consideraba que el agua era un elemento crucial en los seres vivos pero fue hasta 1774, cuando Henry Cavendish sintetizó agua, al hacer detonar una mezcla de hidrógeno y aire, que se supo era una sustancia compuesta. Como resultado de este descubrimiento, después Lorenzo Lavoisier dio a conocer que los componentes del agua eran el oxígeno y el hidrógeno. En 1804 Joseph Louis Gay-Lussac y el naturalista alemán Alexander von Humboldt aclararon que el agua está formada por dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O).⁷

Fue así que se empezaron a describir las propiedades fisicoquímicas más notables del agua, que son:⁸

I. Su color varía según su estado físico: como líquido, en poco volumen parece incolora, aunque en el espectrógrafo permite observar que tiene un ligero tono azul verdoso. En su estado sólido, como hielo, tiende a mostrar un color azul y en el estado gaseoso el vapor de agua parece ser incoloro. En condiciones ordinarias de temperatura y presión es insípida e inodora.

2) **El agua es una molécula polar.** El oxígeno tiene una carga negativa en tanto que los átomos de hidrógeno tienen una carga ligeramente positiva; por lo que tiene un momento dipolar eléctrico poderoso. Así, la interacción entre los diferentes dipolos eléctricos de una molécula motiva una atracción en red: que explica el elevado índice de tensión superficial del agua. Y la fuerza de la interacción de la tensión superficial del agua es la fuerza de Van der Waals ejercida entre las moléculas. Por otra parte, la aparente elasticidad que obedece a la tensión superficial permite explicar la formación de ondas capilares. A presión constante, el índice de tensión superficial del agua disminuye al aumentar su temperatura.¹⁰ También gracias a su naturaleza polar el agua tiene un alto valor adhesivo. La capilaridad se refiere a la tendencia del agua de moverse por un tubo estrecho en contra de la fuerza de la gravedad; esta propiedad es aprovechada por todas las plantas vasculares, como los árboles, para hidratarse. Otro factor que refuerza la unión entre moléculas de agua es el enlace por puentes de hidrógeno.¹¹

- 3) El punto de ebullición del agua tiene relación con la presión atmosférica, por ejemplo en la cima del Everest (8,882 m del nivel del mar), el agua hierve a 68 °C, en tanto que al nivel del mar lo hace a los 100 °C. Del mismo modo, el agua cercana a fuentes geotérmicas llega alcanzar temperaturas de cientos de grados centígrados y seguir en líquido.^{8,9,12} Su temperatura crítica es de 373.85 °C (647.14 °K), su valor específico de fusión es de 0.334 kJ/g y su índice específico de vaporización es de 2.23 kJ/g.¹³
- 4) El agua es un poderoso solvente, casi universal. Las sustancias que se mezclan y se disuelven fácilmente en el agua: como las sales, azúcares, ácidos, álcalis, y algunos gases (como el oxígeno o el dióxido de carbono) se les conoce como *sustancias hidrófilas* o

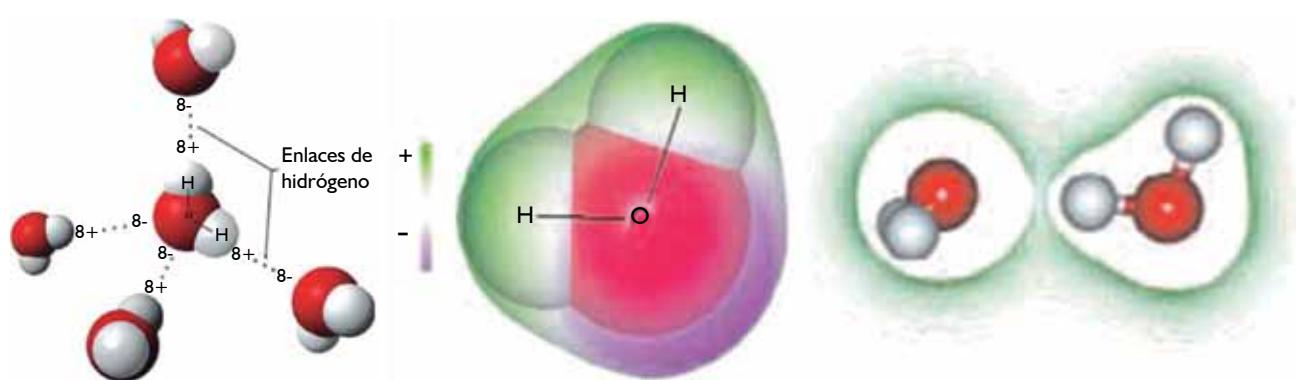


Figura 1. Modelos mostrando los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua (H₂O).

hidrofílicas, mientras que las que no se disuelven bien en el agua (como los lípidos y otras grasas) se denominan *sustancias hidrófobicas*. Todos los principales componentes de las células, de las proteínas, el ADN y los polisacáridos se disuelven fácilmente en el agua.

5) El agua pura tiene una *conductividad eléctrica relativamente baja*, pero ésta se incrementa con la disolución de una pequeña cantidad de sales como el cloruro de sodio.

6) Por otra parte, tiene el segundo índice más alto de **capacidad calorífica específica**, sólo atrás del amoníaco, y una elevada entalpía de vaporización (40.65 kJ mol⁻¹); ambos factores son debidos a los enlaces de hidrógeno entre las moléculas. Estas dos propiedades son las que hacen que el agua «modere» la temperatura terrestre, reconduciendo amplias variaciones de energía.

7) **Temperatura y presión.** A la presión normal (1 atmósfera) el agua líquida tiene una densidad mínima (0.958 kg/L) a los 100 °C y al bajar la temperatura la densidad aumenta (por ejemplo a 90 °C tiene una densidad de 0.965 kg/L y ese aumento es constante hasta llegar a los 3.8 °C, en donde alcanza una densidad de 1 kg/litro. Esa temperatura (3.8 °C) representa un punto de inflexión y es cuando alcanza su máxima densidad (a la presión mencionada). A partir de ese punto, al bajar la temperatura, la densidad comienza a desminuir, aunque muy lentamente (casi nada), hasta los 0° disminuye hasta 0.9999 kg/litro. Cuando pasa al estado sólido (a 0 °C), ocurre una brusca disminución de la densidad pasando de 0.9999 kg/L a 0.917 kg/L.¹⁴

8) **Mediante electrólisis** el agua se descompone en partículas de hidrógeno y oxígeno; y como un óxido de hidrógeno, el agua se forma cuando el hidrógeno –u otro compuesto con hidrógeno– se quema o reacciona con oxígeno –o con un compuesto de oxígeno–. El agua no es combustible, puesto que es un producto residual de la combustión del hidrógeno. La energía para separar el agua en sus dos componentes, mediante electrólisis, es mayor a la energía que se desprende por la recombinação de hidrógeno con el oxígeno; por lo que el agua, no es una fuente eficaz de energía.¹⁵ Los elementos más electropositivos que el hidrógeno –como el litio, el sodio, el calcio, el potasio y el cesio– desplazan el hidrógeno del agua formando hidróxidos. Dada la naturaleza del hidrógeno, de ser un gas inflamable, es peligroso al ser liberado, por lo que la reacción combinada del agua con los elementos más electropositivos puede dar lugar a una explosión violenta.

Sistemas de mediciones del agua

El 7 de abril de 1795 fue definido en Francia **el gramo** como unidad de peso y el peso absoluto como el volu-

men de agua pura igual a un cubo de la centésima parte de un metro, a la temperatura de fusión del hielo.¹⁶ En sentido práctico, se generalizó el empleo del kilo como una medida de referencia mil veces mayor para los metales. El trabajo era por tanto, calcular con precisión la masa de un litro de agua.¹⁷

La escala de temperatura Kelvin, del Sistema Internacional de Unidades, se basa en el punto triple de ebullición del agua, definido como 273.16 °K (0.01 °C). Esta escala es más compleja que la usada como unidad el Celsius: definido tan sólo por el punto de ebullición del agua (= 100 °C) y su punto de fusión (= 0 °C). El agua natural se compone principalmente de isótopos hidrógeno-¹ y oxígeno-¹⁶, pero también en pequeña cantidad isótopos más pesados como el hidrógeno-² (deuterio) y la cantidad de óxidos de deuterio del agua pesada es también muy reducida, pero afecta seriamente las propiedades del agua. El agua de ríos y lagos suele tener menos deuterio que el agua del mar.

Sin embargo, el agua es de las pocas sustancias que se hallan en forma natural en los tres estados físicos⁷ y se le encuentra en formas distintas en la tierra, como vapor de agua conformando nubes, en forma sólida en los icebergs y en glaciares, y en forma líquida como agua marina, en océanos, acuíferos subterráneos, lagos y ríos.

Actualmente aún se está investigando la naturaleza de este compuesto y sus propiedades,¹⁸ en este sentido John Emsley expresó, en cierta ocasión, que el agua «es una de las sustancias químicas más investigadas, pero sigue siendo la menos comprendida».¹⁹

DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA NATURALEZA

La mayor parte del agua en el universo puede haber surgido como producto de la formación de una estrella: ya que en el nacimiento de las estrellas ocurre un fuerte flujo de gases y polvo cósmico y cuando este material colisiona con el gas de las zonas exteriores, las ondas de choque producen, comprimen y calientan el gas y se piensa que el agua es producto de este gas caliente y denso²⁰ ya que se ha detectado agua en nubes interestelares dentro de la Vía Láctea y estas nubes pueden condensarse y eventualmente tomar la forma de una nebulosa solar. Además, es posible que el agua sea abundante en otras galaxias, pues sus componentes químicos (hidrógeno y oxígeno) están entre las sustancias más comunes del universo.²¹

Zona habitable del sistema solar

El agua en estado líquido –en menor medida como hielo o vapor– en la Tierra es un elemento fundamental para la existencia de vida, tal como se conoce. La Tierra se encuentra situada en un área del sistema solar que tiene

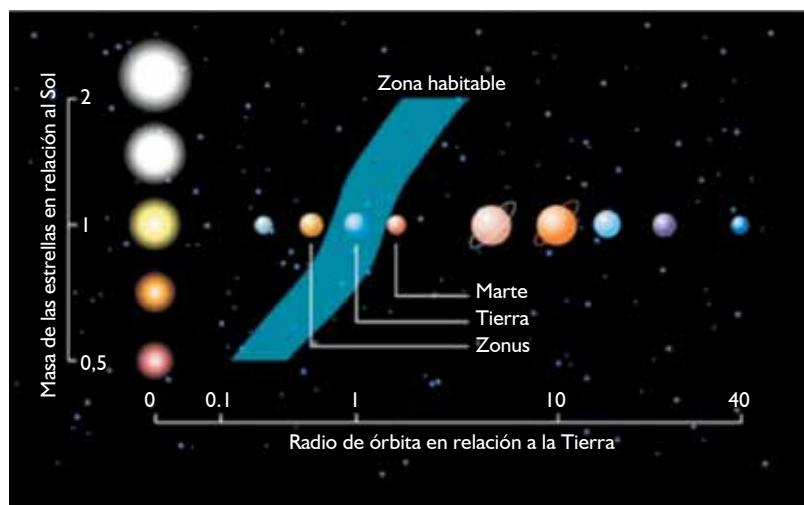


Figura 2. Zona habitable del sistema solar. En donde el sol genera condiciones de presión y temperatura que permite la existencia de agua en sus tres estados (franja gris). Interpolación de la zona habitable en otros sistemas planetarios con soles de diferentes tamaños.

condiciones naturales específicas, ya que si estuviera poco más cerca del Sol, a ocho millones de kilómetros, sería suficiente para dificultar la presencia de los tres estados físicos del agua²² pues la masa de la Tierra genera una fuerza de gravedad que impide que los gases de la atmósfera se dispersen. El vapor de agua y el dióxido de carbono se combinan para causar lo que ha dado en llamarse el **efecto invernadero**; aunque este término tiene connotaciones negativas, el efecto invernadero es el que mantiene la estabilidad de la temperatura del planeta: actuando como una capa protectora de la vida, pues si la Tierra fuese más pequeña, la menor gravedad que ejercería sobre la atmósfera, haría que esta capa protectora fuese más delgada, y redundaría en temperaturas extremas y evitaría la acumulación de agua, excepto en los casquetes polares. Algunos expertos teóricos han sugerido que la misma vida en la Tierra, actuando como un macroorganismo, es la que mantiene las condiciones que permiten su existencia. Sin embargo, la temperatura superficial de la tierra ha permanecido, relativamente, sin variación a lo largo de sus eras geológicas: a pesar de los niveles cambiantes de radiación solar. Por este hecho algunos investigadores piensan que el planeta Tierra está auto-termo-regulado por la combinación de gases de efecto invernadero y el **albedo**[§] atmosférico y superficial. El estado del agua depende también de la gravedad atmosférica de un planeta; si un planeta es muy grande, el agua que hay en él permanecería en estado sólido, incluso a altas temperaturas, debido a la presión elevada causada por la gravedad.²²

§ El albedo es la relación, expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja sobre la radiación que incide sobre la misma. Las superficies claras tienen valores de albedo superior a las oscuras, y las brillantes más que las mates. El albedo medio de la Tierra es del 37-39% de la radiación que proviene del Sol.

EL AGUA EN LA TIERRA

El agua presente en este planeta, en todas sus formas, se le conoce como **hidrosfera**: que es la capa de la Tierra que se encuentra entre la llamada **litósfera**, o capa exterior sólida conocida como corteza terrestre y la atmósfera que es la capa gaseosa que envuelve a la Tierra. El agua cubre cerca de 3/4 partes (71%) de la superficie de la Tierra y se le encuentra en cualquier lugar de la biosfera y en los tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso; 97% del agua es agua salada y se encuentra en los océanos y mares; sólo el 3% de su volumen es agua dulce y de ésta 1% está en estado líquido, pues el 2% restante se encuentra en estado sólido en capas, campos y plataformas de hielo, en las latitudes próximas a los polos. Fuera de las regiones polares el agua dulce se encuentra principalmente en humedales y en acuíferos subterráneos. El agua representa entre el 50-90% de la masa de los seres vivos (aproximadamente el 75% del cuerpo humano es agua y en el caso de las algas, el porcentaje llega a ser de 90%). En la superficie de la Tierra hay unos 1,386,000,000 km³ de agua que se distribuyen de la siguiente forma^{2,3} (Cuadro 2).

La mayor parte del agua terrestre está contenida en los mares y presenta un elevado contenido en sales. Las aguas subterráneas se encuentran en yacimientos llamados acuíferos y son potencialmente útiles al hombre. En el estado líquido hay masas de agua como océanos, mares, lagos, ríos, corrientes, canales, manantiales y estanques.²

El agua desempeña un papel muy importante en los procesos geológicos, ya que las corrientes subterráneas de agua afectan directamente a las capas geológicas,

Cuadro 2. Nombres del agua de acuerdo a su forma y características.

| Vertical | Precipitación Desplazamiento | Según estado Precipitación líquida | Precipitación sólida |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| | Horizontal (asentada) | | |
| Lluvia | Rocío | Lluvia | Nevasca |
| Lluvia congelada | Escarcha | Lluvia helada | Granizo blando |
| Llovizna | Congelación atmosférica | Llovizna | Gránulos de nieve |
| Lluvia helada | Hielo glaseado | Llovizna helada | Perdigones de hielo |
| Nieve | Partículas en suspensión | Rocío | Lluvia helada |
| Granizo blando | Nubes | | Granizo |
| Gránulos de nieve | Niebla | Precipitación mixta | Prismas de hielo |
| Perdigones de hielo | Bruma | Con temperaturas cercanas a los 0 °C | Escarcha |
| Aguanieve | Partículas en ascenso | | Congelación atmosférica |
| Pedrisco | (Impulsadas por el viento) | | Hielo glaseado |
| Cristal de hielo | Ventisca | | Aguanieve |
| | Nieve revuelta | | |

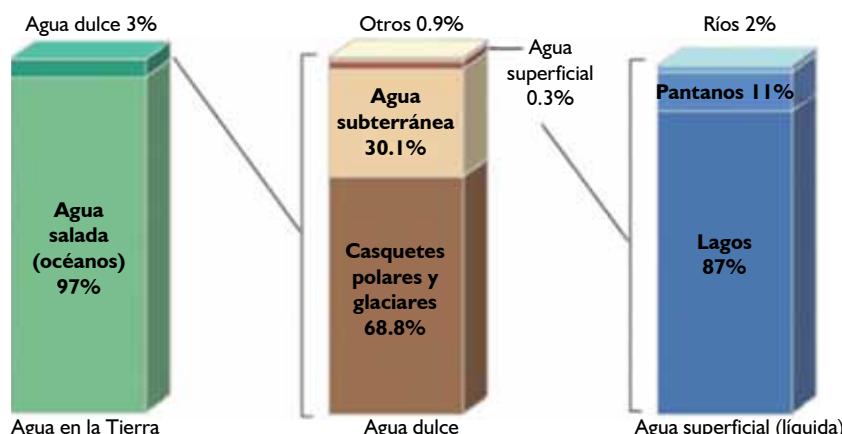


Figura 3. Representación gráfica de la distribución del agua terrestre. Los océanos cubren el 71% de la superficie terrestre: su agua salada supone el 97% del agua del planeta.

influyendo en la formación de fallas. El agua localizada en el manto terrestre también afecta a la formación de volcanes. En la superficie, el agua actúa como un agente muy activo sobre los procesos químicos y físicos de la erosión. El agua en su estado líquido y en menor medida en forma de hielo, es también un factor esencial en el transporte de sedimentos.²

EL CICLO DEL AGUA

La energía del Sol calienta la tierra generando corrientes de aire que hacen que el agua se evapore, ascienda por el aire y condense en las alturas como nubes, para luego caer en forma de lluvia. La mayor parte del vapor de agua que se desprende de los océanos vuelve a ellos pero el viento también desplaza las masas de va-

por hacia tierra firme, en la misma proporción en que el agua se precipita de nuevo desde la tierra hacia los mares (unos 45,000 km³ cada año). Ya en tierra firme la evaporación de cuerpos acuáticos y la transpiración de los seres vivos contribuye a aumentar el vapor de agua en otros 74,000 km³ anuales, y las precipitaciones que ocurren sobre la tierra firme se estima en 119,000 km³ anuales que vuelven a la superficie en forma líquida –como lluvia– o sólida como nieve o granizo o como gas, formando nieblas o brumas. El agua de deshielos suele formar cuencas y los cursos del agua más pequeños suelen unirse formando ríos. Además, al arrastrar minerales durante su desplazamiento, los ríos cumplen un papel importante en el enriquecimiento del suelo. Parte de las aguas de esos ríos se desvían para su aprovechamiento agrícola. Los ríos desembocan en el mar, depositando

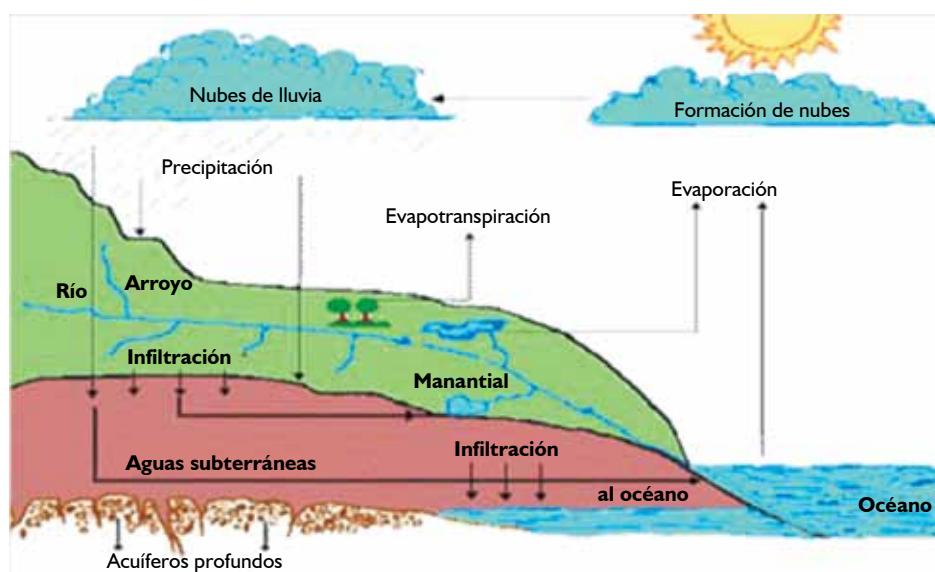


Figura 4. El ciclo del agua (ciclo hidrológico). Se denomina al continuo intercambio de agua dentro de la hidrosfera, entre la atmósfera, el agua superficial y subterránea y los organismos vivos. El agua cambia constantemente su posición de una a otra parte implicando básicamente los siguientes procesos físicos: a) evaporación de los océanos y otras masas de agua y transpiración de los seres vivos (animales y plantas) hacia la atmósfera; b) precipitación, originada por la condensación de vapor de agua, y que puede adaptar múltiples formas; c) escurrimientos, o movimiento de las aguas superficiales hacia los océanos.

los sedimentos arrastrados durante su curso, formando deltas. El terreno de estos deltas es muy fértil, gracias a la riqueza de los minerales concentrados por acción del curso del agua.²²

Evaporación del agua del océano. El océano engloba la parte de la superficie terrestre ocupada por el agua marina. Se formó hace unos 4,000 millones de años, cuando la temperatura de la superficie del planeta se enfrió y permitió que el agua pasara a su estado líquido. La profundidad media de los océanos es de unos 4,000 m. La parte más profunda se encuentra en la Fosa de las Marianas alcanzando los 11,033 m. En los océanos hay una capa superficial de agua templada (entre 12 a 30 °C) la que ocupa varias decenas de metros hasta los 400-500 metros. Por debajo de esta capa está el agua fría, con temperaturas de entre 5 y -1 °C. El agua es más cálida en las zonas templadas, ecuatoriales y tropicales, y más fría cerca de los polos. Contiene sustancias sólidas en disolución, siendo las más abundantes el sodio y el cloro que, en su forma sólida, pues se combina para formar el cloruro de sodio o sal común y, junto con el magnesio, el calcio y el potasio, constituyen cerca del 90% de los elementos disueltos en el agua de mar. El océano está dividido por las grandes extensiones de tierra de los continentes y los grandes archipiélagos en cinco partes u océanos llamados: Antártico, Ártico, Atlántico, Índico y Pacífico. Se llama mar a una masa de agua salada de tamaño inferior al océano y se utiliza también el término para designar algunos grandes lagos.²³

El agua dulce en la naturaleza se renueva gracias a la atmósfera que dispone de 12,900 km³ de vapor de agua. Sin embargo es un volumen dinámico que constantemente se está incrementando por evaporación y

disminuyendo en forma de precipitaciones; pues se estima que el volumen anual de agua de lluvia es de 113,500 y 120,000 km³ en el mundo. Estos volúmenes suponen la parte clave de la renovación de los recursos naturales de agua dulce y en los países de clima templado y fijo la precipitación en forma de nieve supone una parte importante del total.²⁴ Alrededor de 69% del agua dulce en el mundo se encuentra en los glaciares y mantos de hielo, pero no se consideran recursos hídricos por ser, hasta ahora, de difícil acceso (en la Antártida, el Ártico y en Groenlandia). En cambio, los glaciares continentales son básicos en los recursos hídricos de muchos países.²⁵

Las aguas superficiales engloban los lagos, embalses, ríos y humedales suponiendo solamente el 0.3% del agua dulce del planeta, sin embargo representan el 80% de las aguas dulces renovables anualmente, de allí su importancia;²⁶ el agua subterránea representa el 96% del agua dulce no congelada, lo que supone un importante recurso natural. Los sistemas de aguas subterráneas empleados en el abastecimiento de poblaciones se estima entre un 25-40% del total de agua potable. Así, la mitad de las grandes megalópolis del mundo dependen de ellas para su consumo. En las zonas donde no se dispone de otra fuente de agua representa una forma de abastecimiento de calidad a bajo costo.²⁶

Todo indica que las primeras formas de vida en la Tierra aparecieron en el agua, que en la actualidad es el hábitat de todas las especies de peces y de algunos mamíferos y anfibios.²⁶ El agua es también esencial para el kelp, el plancton y las algas, que son la base de la cadena trófica submarina, y proveen el medio y sustento de una amplia fauna marina. Los animales acuáticos deben obtener oxígeno para respirar, extrayéndolo del agua

de diversas maneras. Los grandes mamíferos como las ballenas conservan la respiración pulmonar, tomando el aire fuera del agua y conteniendo la respiración al sumergirse. Los peces, en cambio, utilizan las agallas para extraer el oxígeno del agua en vez de pulmones. Algunas especies como los **dipnoos** conservan ambos sistemas respiratorios. Otras especies marinas pueden absorber el oxígeno mediante respiración cutánea. El **arrecife de coral** se ha calificado en ocasiones como «el animal vivo más grande del mundo», y con sus más de 2,600 km de extensión es posible verlo desde el espacio. La circulación vegetal de plantas terrestres también se efectúa gracias a determinadas propiedades del agua, que hace posible la obtención de energía a partir de la luz solar.²⁶

El agua en la agricultura. La mayor parte del agua se destina a la agricultura y tiene una relación directa con los recursos hídricos del país y la producción de alimentos, por lo que llega a haber situaciones críticas en las naciones donde la población está en constante crecimiento.²⁸ Generalmente en algunos países en desarrollo 90% del agua disponible se usa en la irrigación,²⁹ aunque la agricultura es un sistema de producción tan antiguo que la población ha sabido adaptarse a los régimenes hídricos de cada país: por eso en zonas donde hay una abundante precipitación pluvial se hacen cultivos de regadío, en tanto que en zonas más secas comúnmente se opta por los cultivos de temporal.

La historia muestra que las civilizaciones primitivas florecieron en zonas favorables a la agricultura, como las cuencas de los ríos. Es el caso de Mesopotamia, considerada la cuna de la civilización, surgida en el fértil valle de los ríos Éufrates y Tigris: en Egipto se desarrolló una espléndida civilización que dependía por completo del río Nilo y sus crecidas periódicas. Muchas otras grandes ciudades, como Rotterdam, Londres, Montreal, París, Nueva York, Buenos Aires, Shanghai, Tokio, Chicago o Hong Kong deben su riqueza a la conexión con alguna gran vía de agua que favoreció su crecimiento y su prosperidad. Las islas que contaban con un puerto natural seguro –como Singapur– florecieron por la misma razón. Del mismo modo, áreas en las que el agua es muy escasa, como el Norte de África o el Oriente Medio, han tenido históricamente dificultades de desarrollo.²⁷

Uso del agua en la industria. El agua tiene múltiples aplicaciones en la industria: para calentar, enfriar, producir vapor de agua, como disolvente, como materia prima o para hacer limpieza. Si bien la mayor parte, después de su uso se elimina y vuelve a la naturaleza, el agua vertida a veces es tratada, pero en otras ocasiones el agua residual de la industria vuelve a su ciclo natural sin ser tratada de manera adecuada. Así, la calidad del agua de muchos de los ríos del mundo ha venido

deteriorando o afectando negativamente el ambiente, por los vertidos de industrias que usan metales pesados, sustancias químicas u orgánicas.³⁰ Otras veces ocurre la contaminación indirecta con residuos sólidos, con sustancias u otros líquidos, el lixiviado^{§§} se filtra en la tierra contaminando los acuíferos, cuando los residuos no se aíslan correctamente.³¹

Los mayores consumidores de agua con fines industriales en 2008, fueron: Estados Unidos de Norteamérica con 221 km³; China 162 km³; Rusia 49 km³; India 35 km³; Alemania 32 km³; Canadá 32 km³; y Francia 30 km³ y en los países de habla hispana, España 7 km³, México 4.3 km³; Chile 3.2 km³ y Argentina 2.8 km³.³² En algunos países desarrollados, sobre todo en Asia Oriental y en el África subsahariana, el consumo industrial de agua llega a superar ampliamente al doméstico.³³ El agua es utilizada para la generación de energía eléctrica. La energía hidroeléctrica generada por el agua embalsada permite disponer de energía eléctrica que se produce cuando el agua embalsada previamente en una presa cae por gravedad en una central hidroeléctrica, haciendo girar en dicho proceso una turbina engranada a un alternador. Este tipo de energía de bajo costo no produce contaminación y es renovable.

Procesamiento de alimentos. El agua juega un papel crucial en la tecnología de alimentos y de la calidad del agua dependen las características de ella e influyen en la calidad de los alimentos. Ya que de los solutos en el agua, como son las sales y los azúcares, dependen las propiedades físicas del agua y de éstos depende el punto de ebullición y congelación del agua: un mol de sacarosa (azúcar) aumenta el punto de ebullición del agua a 0.52 °C, y un mol de cloruro de sodio aumenta el punto de ebullición a 1.04 °C a la vez que disminuye del mismo modo el punto de congelamiento del agua. También los solutos del agua afectan la actividad de ésta, así como varias reacciones químicas y puede favorecer el crecimiento de microorganismos en los alimentos. Cabe mencionar que se habla de actividad del agua a la relación que hay entre la presión de vapor de la solución y la presión de vapor del agua pura. Los solutos en el agua disminuyen la actividad acuosa, por lo que es importante conocer esta información, ya que favorece el crecimiento bacteriano que cesa cuando hay una baja de actividad acuosa.³⁴

OTROS USOS

El agua posee un elevado calor latente de vaporización y es relativamente inerte, convirtiéndole en un

§§ Escurrimiento de líquidos a niveles inferiores de un suelo mediante drenaje, arrastrando nutrientes, sales minerales y otros compuestos orgánicos.

fluido eficaz para apagar incendios. El calor del fuego es absorbido por el agua para luego evaporarse, extinguéndose por enfriamiento. Sin embargo, el agua **no debe** ser usada para apagar el fuego debido a equipos eléctricos, ya que el agua impura es un buen conductor de electricidad. También no se debe emplear para extinguir combustibles líquidos o solventes orgánicos: ya que éstos flotan en el agua y la ebullición explosiva de ésta tiende a extender el fuego. Cuando se usa el agua para apagar incendios se debe conocer el riesgo de una explosión de vapor, ya que esto puede ocurrir en espacios reducidos y en «fuegos sobreacentados». Se debe tener en cuenta el peligro de una explosión de hidrógeno (que ocurre cuando ciertas sustancias como metales o grafito caliente, se descomponen en el agua produciendo hidrógeno).²

Contaminación y depuración del agua

La población del mundo ha pasado de 2,630 millones en 1950 a 7,000 millones en 2010 y es en los asentamientos humanos donde se concentra el uso del agua con fines no agrícolas y donde se contraen la mayoría de las enfermedades que tienen relación con la escasez en disponibilidad de agua potable.³⁵

La humanidad por mucho tiempo ha depositado sus residuos y basuras en la tierra, la atmósfera y en el agua; esta forma de actuar ha hecho que los residuos sean la causa de la contaminación que incide en la salud de la población. La contaminación del agua se afecta por la precipitación pluvial que da lugar a las aguas superficiales y subterráneas y como consecuencia degradada los ecosistemas naturales.³⁶

El crecimiento de la población y la expansión de sus actividades económicas han presionado negativamente los ecosistemas de las aguas costeras, los ríos, los lagos, los humedales y los acuíferos; como ejemplos se pueden mencionar: la construcción, a lo largo de las costas de nuevos puertos y zonas urbanas y la alteración de los sistemas fluviales para la navegación y para embalses de almacenamiento de agua y el drenaje de humedales para aumentar la superficie con fines agrícolas, la sobreexplotación de los fondos pesqueros, las múltiples fuentes de contaminación provenientes de la agricultura, la industria, el turismo y las aguas residuales de los hogares. Un dato significativo de esta presión ecológica es que mientras la población de 1900 se ha multiplicado por cuatro, la extracción de agua se ha multiplicado por seis y la calidad de agua potable se ha reducido por aumento de la contaminación y de los factores ya mencionados.³⁷

AGUA POTABLE

Para regular el consumo humano de agua (agua potable) se califica así por su pureza: por la ausencia en ella de toxinas, minerales u otros contaminantes químicos, así como de microorganismos en concentraciones peligrosas para los seres humanos. Habitualmente se capta de manantiales, pozos acuíferos, o es extraída de fuentes naturales (ríos y lagos) y es conducida en túneles a las ciudades; sin embargo, generalmente antes de dirigirla a su destino es tratada para tener la certeza que sea «agua limpia» para consumo humano.

Hay diferentes tecnologías para potabilizar el agua mediante su filtración, coagulación, floculación o decantación de sustancias potencialmente nocivas. Mediante la filtración del agua con arena se eliminan residuos orgánicos y mediante la cloración y aeración del agua se eliminan microorganismos y si es necesario se reduce la concentración de minerales mediante tratamientos químicos. Por tecnologías más avanzadas se purifica el agua como por ósmosis inversa. O se desmineraliza el agua de mar para consumo humano: pero su costo es muy elevado, por gasto de energía eléctrica que requiere, pues suele emplearse en las zonas costeras o de clima árido.³⁸

La llamada *política del agua* es diseñada para asignar, distribuir y administrar los recursos hídricos y el agua que se capta en ellos.³⁹ A este respecto la disponibilidad *per cápita* de agua potable, ha venido disminuyendo por varios factores como: el calentamiento de la tierra que ha contribuido a desquiciar el ciclo del agua y el clima en la tierra, por otra parte, la sobre población, el riego excesivo, su mal uso y el creciente ritmo de demanda de agua,⁴⁰ el agua se ha convertido en un recurso estratégico para el mundo y es ahora motivo de muchos conflictos en muchos países.⁴¹ Y a un lado de todo esto, es preciso resaltar que la escasez de agua tiene un impacto negativo en la salud de la población y en la biodiversidad⁴² y que de los 1,600,000 millones de personas que en el mundo en 1990 no tenían acceso a una fuente de agua potable,² ahora, 20 años después esta cifra ha aumentado. A un lado de esta situación adversa, se calcula que en los países desarrollados la proporción de gente con acceso a agua segura, ha mejorado del 30% en 1970 al 71% en 1990, y del 79% en el 2000 al 84% en el 2004⁷ y se augura que esta tendencia seguirá en los próximos años.⁶

Por todo esto, uno de los objetivos de desarrollo del milenio para el 2015, en los países miembros de las Naciones Unidas se planteó reducir en 50% la población sin acceso sostenible a fuentes de agua potable, lo que

Cuadro 3. Distribución del agua en la tierra.

| Situación del agua | Volumen en km ³ | | Porcentaje | |
|--------------------------------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | Agua dulce | Agua salada | De agua dulce | De agua total |
| Océanos y mares | — | 1,338,000,000 | — | 96.5000 |
| Casquetes y glaciares polares | 24,064,000 | — | 68.700 | 1.7400 |
| Agua subterránea salada | — | 12,870,000 | — | 0.9400 |
| Agua subterránea dulce | 10,530,000 | — | 30.100 | 0.7600 |
| Glaciares continentales y Permafrost | 300,000 | — | 0.860 | 0.0220 |
| Lagos de agua dulce | 91,000 | — | 0.260 | 0.0070 |
| Lagos de agua salada | — | 85,400 | — | 0.0060 |
| Humedad del suelo | 16,500 | — | 0.050 | 0.0010 |
| Atmósfera | 12,900 | — | 0.040 | 0.0010 |
| Embalses | 11,470 | — | 0.030 | 0.0008 |
| Ríos | 2,120 | — | 0.0060 | 0.0002 |
| Agua biológica | 1,120 | — | 0.0030 | 0.0001 |
| Total agua dulce | 35,029,110 | 100.0000 | — | |
| Total agua en la tierra | 1,386,000,000 | — | 100.0000 | |

parece que la meta será alcanzada en ese año por venir.⁴³ Para cumplir con este ambicioso objetivo la ONU pronostica que el gasto necesario para tal fin habrá de gastarse entre 50 a 102 mil millones de dólares.⁴⁴ Según un reporte hecho por la ONU en 2006 «a nivel mundial hay suficiente agua para todos»: pero el acceso ha sido obstaculizado por la corrupción y la mala administración en muchos países.⁴⁵

A un lado de estos pronósticos, en el informe de la UNESCO sobre el «Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo», este organismo predice que en los próximos veinte años el agua disponible para todos disminuirá 30%;⁴⁶ en efecto, otra estimación⁴⁷ señala que 40% de la población mundial tiene una insuficiente disponibilidad de agua potable para su higiene básica y estima que más de 2.2 millones de personas murieron a consecuencia de enfermedades transmitidas por el agua (relacionadas con el consumo de agua contaminada) o sequías en el año 2000; otra información que causó alarma en el 2004 fue la hecha por la organización Water Aid: la que estimaba en ese año que en el mundo muere cada 15 segundos un niño por enfermedades relacionadas con la carencia de agua «segura», muertes por la falta de un sistema de tratamiento de aguas residuales.⁴⁷

El uso doméstico del agua

Además de que los seres humanos precisan de agua « limpia» para su consumo diario precisan también de agua para su aseo y la limpieza. Se estima que en el mundo los humanos consumen alrededor de 54% del

agua dulce superficial disponible, que se desglosa de la siguiente manera: a) 20% para mantener la fauna y la flora, para el transporte de bienes (barcos) y para la pesca y b) 34% para ser usado de la siguiente manera: 70% en irrigación, un 20% en la industria y un 10% en las ciudades y para los hogares.⁴⁸

El uso del agua diario por los seres humanos representa un porcentaje reducido del volumen de agua consumido diariamente. Se estima que un habitante de una ciudad, en un país desarrollado, ingiere alrededor de cinco litros diarios en sus alimentos y bebidas⁴⁹ y este volumen aumenta si considera el agua para consumo doméstico, por lo que el cálculo aproximado de agua por persona/día en un país desarrollado se muestra en el cuadro 3.

Es así como los hábitos de consumo (*Cuadro 3*) han aumentado en el último siglo y ha provocado que en las ciudades las autoridades hagan campañas para promover el uso razonado de agua en la población. Actualmente la labor de concientización es una tarea de enorme importancia para garantizar el futuro del agua en el planeta, por lo que es objeto de constante actividad tanto a todos los niveles: municipal, estatal, nacional e internacional.⁵⁰ Además, la amplia diferencia en el consumo diario por persona en los países desarrollados y en los que están en vías de desarrollo indican que el actual empleo de agua no sólo es ecológicamente inviable sino que también lo es desde un punto de vista humanitario, por lo que las organizaciones no gubernamentales se esfuerzan incluir el derecho al agua como uno más de los derechos humanos básicos,⁵⁰ también, en el V Foro Mundial del agua, de 2009 en Estambul (Turquía) Loic Fauchon, Presidente del

Consejo Mundial del Agua, subrayó la importancia de la regulación del consumo en estos términos: «La época del agua fácil terminó... desde hace 50 años con las políticas del agua en todo el mundo, las que siempre consistieron en aportar más agua. Ahora tenemos que introducir las políticas de regulación de la demanda de agua».⁵²

Referencias

1. Rendón-Díaz MLE, Lara-Magaña ME. ¿Qué sabemos del agua? *Ciencia* 2003; 4-9.
2. <http://es.wikipedia.org/wiki/water#head>.
3. <http://ga.water.usgs.gov/edu/waterdistribution.html>.
4. World water resources at the beginning of the 21st century. Unesco. (<http://webworld.unesco.org/water>).
5. Baroni L, Cenci L, Tettamanti M, Berati M. Evaluating the environmental impact of various dietary patterns combined with different food production systems. *Eur J Clin Nutr* 2007; 61: 279-86.
6. van Steenbergen F, Tuinhof A. Managing the water buffer for development and climate change adaptation. Groundwater recharge, retention, reuse and rainwater storage. Netherlands: *The International Hydrological Programme of UNESCO*; 2009.
7. Perera-Merino R. *El agua, alimento vital para sus células*. México: Editorial Diana; 2003.
8. <http://www.agua.org.mx>.
9. Braun CL, Smirnov SN. Why is water blue? *J Chem Educ* 1993; 70(8): 612.
10. Davie T. *Fundamentals of hydrology*. London: Routledge; 2003.
11. Campbell NA, Williamson B, Heyden U. *Biology: exploring life*. Boston, Mass.: Pearson Prentice Hall; 2006.
12. <http://www.youtube.com>
13. Starr C, Arbogast M. *Biology: Concepts and applications*. 5^a ed. Belmont: Wadsworth- Thomson Learning; 2008.
14. Kotz JC, Treichel P, Weaver GC. *Chemistry and chemical reactivity*. New York: Thomson Brooks/Cole; 2005.
15. Poling BE, Prausnitz JM, Reid RC. *The properties of gases and liquids*. 4^a ed. New York: McGraw-Hill; 1987.
16. Décret relatif aux poids et aux mesures. 18 germinal an 3 (7 avril 1795). (http://smdsi.quartierrural.org/histoire/18germ_3.htm).
17. L'Histoire du Mètre. La détermination de L'Unité de Poids. (<http://histoire.du.metre.fr/fr/index.htm>).
18. Reklaitis GV. *Introduction to material and energy balances*. Philadelphia: John Wiley and Sons, Inc.; 1983.
19. http://www.trikaya.org/articulos/art_belga.htm
20. The Independent, London, 23 de mayo de 1995. (<http://www.independent.co.uk/news/science/the-element-of-surprise-1620748.html>)
21. Melnick G, Neufeld D. Discover of water vapor near Orion Nebula suggests possible origin of H₂O in Solar System, The Harvard University Gazette, April 23, 1998. (<http://www.news.harvard.edu/gazette/1998/04.23/DiscoverofWater.html>)
22. http://www.space.com/scienceastronomy/070410_water_exoplanet.html)
23. Moreno-Paniagua A. *Atlas Universal y de México*. Mac Millan Castillo-México: Ediciones Castillo; 2006.
24. Fraks F, editor: *Water. A comprehensive treatises*. New York: Plenum Press; 1982.
25. 2^o Informe de Naciones Unidas sobre Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, 123-9.
26. Maher KA, Stephenson DJ. Impact frustration of the origin of life. *Nature* 1988; 331: 612-4.
27. Crespo A. *La crisis del agua refleja otras crisis*. BBC.com, 14 de marzo de 2006.
28. http://www.crónica.com.mx/nota.php?id_nota=366176.
29. <http://www.wbcsd.org/includes>.
30. http://www.iesmariazambrano.org/Departamentos/flash-educativos/agricultura_espacial.swf.
31. UNEP International Environment. Environmentally Sound Technology for wastewater and stormwater management: An international source book. Washington DC: IWA Publishing; 2002.
32. Reporte especial. Agua: cómo obtener más y vivir con menos. *National Geographic en español* 2010; 20(4): 1-88.
33. 2^o Informe de Naciones Unidas sobre Desarrollo de Recursos Hídricos en el Mundo 300-2.
34. Otaki Y, Otaki M, Yamada T. Attempt to establish an industrial water consumption distribution model. *J Water Environ Tech* 2008; 6(2): 85-91.
35. Vaclavik VA, Christian EW. *Essentials of food science*. 2^a ed. New York: Springer Verlag; 2003.
36. De Man JM. *Principles of food chemistry* 3^a ed. New York: Springer Verlag; 1999.
37. Freeman WH. *Chemistry in the community*. New York: American Chemical Society; 2006: 60.
38. Starr C, Arbogast M et al. *Biology: Concepts and applications*. 5^a ed. Belmont: Wadsworth-Thomson Learning; 2003: 29.
39. Park C. *A dictionary of environment and conservation*. Oxford: Oxford University Press; 2007: 219.
40. Swain A. *Water scarcity. Managing water conflict*. New York: Routledge; 2004: 4.
41. Shiklomanov IA. *Tendencias en el consumo humano e industrial de agua, y su relación en el ritmo de la evaporación de las reservas*. París: Instituto Hidrológico Estatal (SHI, San Petersburgo) y UNESCO; 1999.
42. La improbable guerra del agua, entrevista al geógrafo estadounidense Aaron Wolf, informe de la UNESCO, octubre de 2001. http://www.unesco.org/courier/2001_10/sp/doss01.htm
43. <http://www.pri.org/health/Globalheat/polluted-water-Pakistan.html>.
44. www.Sciedaily.com/releases/2008/05/080507133330.htm.
45. Reunión de Alto Nivel, Naciones Unidas (25 de septiembre 2008). *Los Objetivos de Desarrollo del Milenio*. New York: Naciones Unidas; 2008.
46. UNESCO. *Water, a shared responsibility*. The United Nations World Water Development Report 2. 2006.
47. www.midcoastwater.com.au.
48. World Health Organization. New York: *Safe Water and Global Health*; 2009.
49. Nijavalli HR, Sathaye JA. *Climate change and developing countries*. New York: Springer Verlag; 2002.
50. Center for Communication Programs. *Water scarcity. Population Information Program*, Baltimore: Ed. Johns Hopkins University, Volume XXVIII, No. 3, Otoño de 2000, Serie M, #15.
51. *Human Appropriation of the World's Fresh Water Supply*. University of Michigan; 2009.
52. Yahoo Noticias, 16 de marzo del 2009.

Correspondencia:

Dr. Manuel Gómez Gómez
Parque Zoquiapan Núm. 25,
Col. Del Parque, 53398,
Naucalpan de Juárez,
Estado de México.
Correo electrónico: mangomez@prodigy.net.mx