

Introducción



La Gran Imagen

Nosotros no solo bebemos agua; somos agua. El agua constituye entre el 50 y el 90% del peso de todo organismo animado. Es una de las sustancias más abundantes e importantes de la Tierra. El agua sostiene a las plantas y a la vida animal, desempeña un papel importante en la formación del clima, ayuda a dar forma a la superficie del planeta, mediante la erosión y otros procesos, y cubre aproximadamente el 70% de la superficie de la Tierra.

El agua circula continuamente entre la superficie de la Tierra y su atmósfera en un proceso que se denomina ciclo hidrológico. Este, también denominado ciclo del agua, es uno de los procesos básicos de la naturaleza. El agua del mar, de los ríos, de los lagos, del suelo y de la vegetación, al responder al calor del sol y a otras influencias, se evapora en el aire y se convierte en vapor de agua. Este vapor asciende a la atmósfera, se enfría y se convierte en agua líquida o hielo, formando las nubes. Cuando estas gotas de agua o cristales de hielo alcanzan el tamaño suficiente, regresan a la superficie de la tierra en forma de lluvia o de nieve. Ya en la superficie, pasa por la siguiente situación: una parte se filtra en el suelo donde puede ser

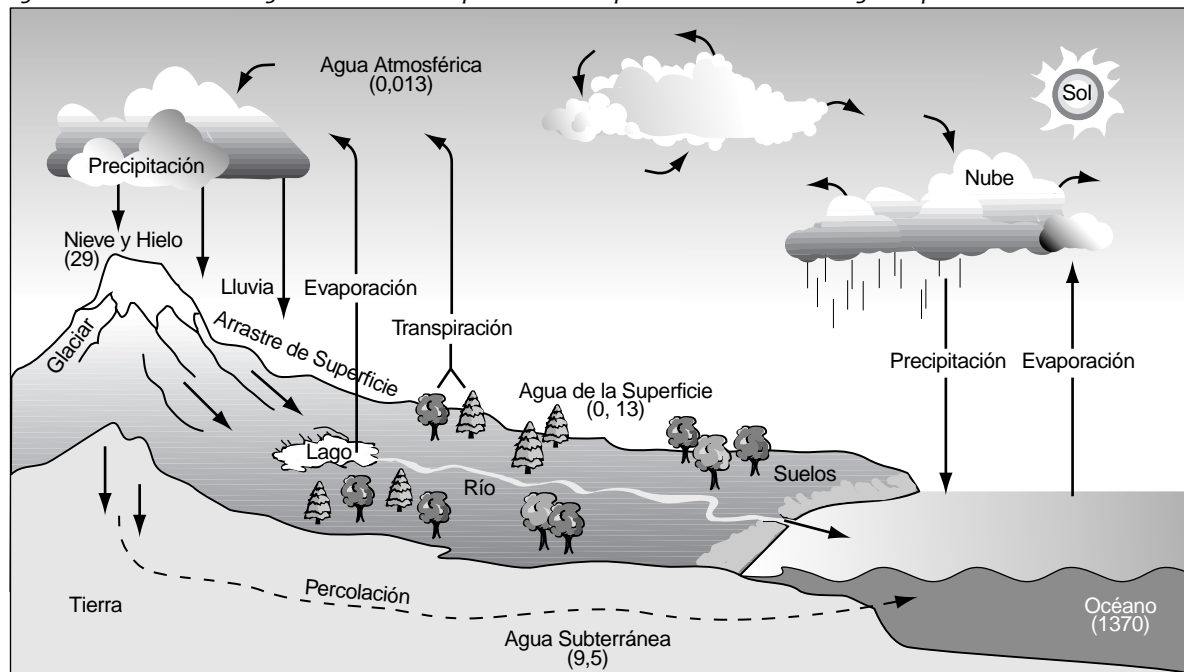
absorbida por las plantas o circula hacia los depósitos de agua subterránea. Otra porción es arrastrada por los arroyos y ríos hasta llegar finalmente al mar. Y otra porción se evapora.

El agua de un lago, la nieve de una montaña, el aire húmedo o las gotas de rocío de la mañana forman parte del mismo sistema. La pérdida total del agua de la superficie del planeta al año equivale al total de la precipitación anual de la Tierra. Si se cambia cualquier parte del sistema, como la cantidad de vegetación de una región o los usos del suelo, esto afectará al resto del sistema.

A pesar de su abundancia, no podemos utilizar gran parte del agua. Si representamos el agua de la Tierra con la cantidad de 100 litros, 97 de ellos son agua del océano y gran parte de lo que resta es hielo. Únicamente alrededor de 3 ml del total de 100 litros es agua que podríamos consumir; esa agua se extrae del subsuelo o se toma de los ríos y lagos.

El agua participa en muchas reacciones químicas importantes, y la mayoría de sustancias son solubles en ella.

Figura HI-1: El Ciclo Hidrológico. Los números en paréntesis corresponden a las reservas de agua disponibles en 10^3 km^3



Tomado de Mackenzie y Mackenzie, 1995, and Graedel and Crutzen, 1993



Debido a lo eficiente que resulta como disolvente, el agua en estado totalmente puro casi no existe en la naturaleza. El agua acarrea muchas impurezas naturales o introducidas por el ser humano a medida que viaja a través del ciclo hidrológico. Estas impurezas le dan a cada porción de agua su composición química característica o *calidad*. El agua y la nieve recogen pequeñas partículas de polvo o *aerosoles* del aire y la luz del sol hace que las emisiones de la quema de gasolina y otros combustibles fósiles reaccionen con el agua para formar ácido sulfúrico y nítrico. Estos contaminantes regresan a la Tierra en forma de *lluvia o nieve ácidas*. Los ácidos del agua disuelven las rocas poco a poco y hacen que los sólidos *disueltos* vayan a parar al agua. Estos pequeños, pero visibles, trozos de roca y suelo también ingresan al agua y se quedan como sólidos *en suspensión* que tornan turbias a muchas aguas. Cuando el agua se filtra en el suelo, entra en contacto muy directo con las rocas y más minerales que se disuelven en el agua. Estas impurezas disueltas o suspendidas determinan la calidad del agua.

Transparencia

La luz, que es esencial para el crecimiento de las plantas, viaja más lejos en las aguas claras que en cualquier agua *turbia* que contiene sólidos en suspensión o agua con color. Normalmente se utilizan dos métodos para medir la transparencia o el grado de penetración de la luz en el agua: el disco Secchi y el tubo de turbiedad. La transparencia del disco Secchi fue medida por primera vez en 1865 por el padre Pietro Angelo Secchi, un científico consejero del Papa. Esta medición simple y de uso muy extendido, mide la profundidad a la que el disco de 20 cm, y de color blanco y negro, desaparece al descender en el agua y reaparece al ser elevado. Una medida alternativa de la transparencia se obtiene al verter agua en un tubo con un patrón similar al del disco Secchi en el fondo y se anota la profundidad del agua en el tubo cuando el patrón desaparece de la vista. El disco Secchi se utiliza en aguas mansas y profundas. El tubo de turbiedad se puede usar en aguas mansas o en movimiento y también en aguas poco profundas o en la superficie de aguas profundas.

La luz del sol proporciona la energía para la fotosíntesis, el proceso por el cual las plantas crecen tomando carbón, nitrógeno, fósforo y otros nutrientes, y emanan oxígeno. Por eso la penetración de la luz del sol en un cuerpo de agua determina la profundidad a la que las algas y otras plantas pueden crecer, así como la cantidad relativa de crecimiento. La transparencia decrece a medida que el color, los sedimentos en suspensión o la abundancia de las algas aumentan. El agua toma el color por la presencia y la acción de algunas bacterias, fitoplancton y otros organismos, o por los químicos vertidos por el suelo o por la materia vegetal en descomposición. Por tanto, la cantidad de nutrientes vegetales que llegan a un cuerpo acuático desde fuentes como plantas de tratamiento de desechos, tanques sépticos, arrastre de fertilizantes y restos de plantas traídas por el viento y el agua, afectan a la transparencia. Los sedimentos en suspensión a menudo provienen de fuentes como la agricultura, la construcción, el arrastre de agua lluvia y la resuspensión de los sedimentos del fondo.

La mayoría de aguas naturales tienen una transparencia que oscila entre uno y varios metros. Un valor bajo, por debajo de un metro, podría esperarse en un cuerpo de agua altamente productivo. Pero un valor bajo también puede deberse a una alta concentración de sólidos en suspensión. Los lagos extremadamente claros y sin producción o las aguas costeras, pueden tener una transparencia de hasta 30 ó 40 metros, como las zonas alrededor de los arrecifes de coral.

La Temperatura del Agua

La temperatura del agua es influida en gran medida por la cantidad de energía solar que es absorbida tanto por el agua como por el suelo y el aire que la rodea. Mayor calor solar da como resultado aguas con temperaturas más elevadas. El agua que se ha utilizado para la manufactura y se ha descargado en un cuerpo de agua también puede hacer que aumente la temperatura. El agua que se evapora de la superficie puede reducir la temperatura de la misma, pero sólo en la capa muy superficial del cuerpo de agua. Es preciso medir la temperatura del agua para poder comprender los patrones de cambios ocurridos a lo largo del año, ya que la temperatura de un cuerpo de agua

influye tremendamente en la cantidad y diversidad de la vida acuática. Los lagos son relativamente fríos y tienen poca vida vegetal acuática en invierno, florecen en primavera y verano cuando las temperaturas se elevan y las aguas ricas en nutrientes se mezclan con las superiores. También es posible encontrar períodos de esta mezcla en el otoño. Debido a esta mezcla y a las temperaturas más elevadas en el agua, la transformación primaveral viene seguida por un período de rápido crecimiento de plantas y animales acuáticos microscópicos. Muchos peces y otros animales acuáticos también nacen durante esta época del año en que las temperaturas aumentan y el alimento es abundante.

Los lagos poco profundos son una excepción a este ciclo, puesto que se mezclan durante todo el año. Una preocupación es que el agua caliente puede ser fatal para especies sensibles como la trucha o el salmón, que requieren de condiciones frías y ricas en oxígeno.

Oxígeno Disuelto

El agua es una molécula hecha de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, por lo que su fórmula es H_2O . Sin embargo, mezcladas con estas moléculas de agua de cualquier cuerpo de agua se encuentran otras de gas de oxígeno (O_2) que se han disuelto en el agua. El oxígeno disuelto es una impureza natural del agua. Los animales acuáticos, como los peces y el zooplancton de los que se alimentan, no respiran el oxígeno de las moléculas del agua, sino de las moléculas de oxígeno que se han disuelto en toda el agua. Sin los niveles suficientes de oxígeno disuelto, la vida acuática se acabaría. Los niveles de oxígeno disuelto menores a 3 mg/l ejercen presión sobre la mayoría de los organismos acuáticos.

En la atmósfera, casi una de cada cinco moléculas es de oxígeno. En el agua, una de cada diez moléculas en cada millón de moléculas es de oxígeno. La mezcla vigorosa de agua y aire, como ocurre en las corrientes turbulentas, aumentan la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, al igual que la fotosíntesis de las plantas acuáticas. El oxígeno es consumido por los peces, el zooplancton y la bacteria que descompone la

materia orgánica. Esta materia orgánica, como por ejemplo plantas y animales muertos, ingresa en las corrientes naturalmente a través del agua que se desprende de los bosques y la hierba o de las tierras cultivadas. Otras fuentes de materia orgánica son los derrames de las plantas de tratamiento de aguas residuales o servidas. Cualquiera que sea la fuente, tendemos a encontrar bajos niveles de oxígeno disuelto que están muy por debajo de la mitad del valor saturado, en corrientes de poco movimiento que están cercanas a fuentes de materia orgánica. Además, el agua caliente contiene menos oxígeno que la fría, así que los períodos críticos para los peces y el zooplancton es en verano. Por ejemplo, con una temperatura de 25°, la solubilidad del oxígeno disuelto es de 8,3 mg/l, mientras que con una temperatura de 4 °C, la solubilidad es de 13,1 mg/l.

pH

El pH es una medida del contenido ácido del agua que influye sobre gran parte de los procesos químicos. El agua sin impurezas (y que no está en contacto con el aire) tiene un pH de 7. El agua con impurezas tendrá un pH de 7 cuando su contenido ácido y alcalino sean exactamente iguales y se equilibren mutuamente. Si los valores de pH son inferiores a 7, quiere decir que tenemos exceso de ácido y si los valores están por encima de 7, tenemos exceso de cal en el agua.

La escala del pH es distinta a la escala de concentración que se utiliza para otras impurezas. Es logarítmica, lo que quiere decir que el cambio en una unidad de pH representa un factor de cambio de 10 en el contenido ácido del agua. Por tanto, el agua con un pH de 3 tiene diez veces más contenido ácido que un agua con un pH de 4, la que a su vez tiene diez veces el contenido ácido del agua con un pH de 5.

La lluvia natural y sin contaminación tiene un pH que oscila entre 4 y 5, de modo que hasta el agua de lluvia del lugar menos contaminado del planeta tiene una acidez natural, la cual es el resultado del dióxido de carbono del aire que se disuelve en las gotas de lluvia. El agua destilada que está en equilibrio con el aire tiene el mismo pH. La lluvia más ácida tiene un pH de 4, aunque muchas



neblinas urbanas con un pH menor a 2 tiene un rango de 6,5 a 8,5. Es posible encontrar aguas que están naturalmente más ácidas en zonas donde ciertos tipos de minerales existen en el suelo (por ejemplo, sulfatos). La minería también hace que se desprendan materiales que dan como resultado acidez en el agua de los arroyos. Las aguas alcalinas por naturaleza, pueden encontrarse sobre todo en zonas donde el suelo contiene minerales como calcita o piedra caliza.

El pH de un cuerpo de agua ejerce fuerte influencia sobre la vida que pueda existir en él. Las salamandras, los sapos y otros animales anfibios son muy sensibles a pH muy bajos. La mayoría de insectos, anfibios y peces no viven en aguas con un pH inferior a 4.

Conductividad Eléctrica

El agua pura es un conductor pobre de la electricidad. Son las impurezas del agua, como las sales disueltas, las que permiten que el agua conduzca electricidad. Dado que existe falta de tiempo y dinero para analizar cada sustancia que hay en el agua, se ha encontrado que un gran indicador del nivel total de impurezas en el agua dulce es su conductividad eléctrica; es decir, la eficacia con la que el agua transmite la corriente eléctrica. Cuantas más impurezas hay en ella, mayor es la conductividad eléctrica.

En la mayoría de usos agrícolas y municipales, se requiere de agua que tenga un contenido total de sólidos disueltos por debajo de los 1000 ó 1200 partes de impurezas por millón de partes de agua por peso (ppm), o una conductividad eléctrica (la capacidad de transmitir corriente eléctrica) que esté por debajo de los 1500-1800 microSiemens/cm (observe que 1 ppm = 1 mg/l). Por encima de estos niveles se puede esperar que ocurran cambios en los cultivos más sensibles. Para usos domésticos, se prefiere el agua con un contenido total de sólidos disueltos inferior a los 500 ppm, o por debajo de una conductividad de cerca de 750 microSiemens /cm. Los residuos que se quedan en los platos “limpios” que acaban de salir de un lavavajillas, son producto de los sólidos disueltos en el agua. Las manufacturas y, sobre todo, la electrónica, requieren de aguas libres de impurezas. La nieve alpina pura de zonas remotas

tiene una conductividad de cerca de 50 microSiemens /cm.

Salinidad

El mar es salado y tiene un contenido mucho más elevado de sólidos disueltos que las aguas dulces. La salinidad es una medida del contenido de sal y se expresa en partes de impureza por mil partes de agua. La salinidad promedio de los océanos de la Tierra es de 35 partes por mil (35 ppt). El sodio y el cloro, que son los componentes de la sal de mesa (NaCl), contribuyen a gran parte de la salinidad. Dado que la proporción de cloro en el agua del mar varía un poco de un lugar a otro, podemos medir el contenido de cloro, al que nos referiremos como clorinidad, para calcular la salinidad total. En las bahías y estuarios se puede encontrar una gran variedad de valores de salinidad, dado que estas son las regiones donde las aguas dulces y las saladas se mezclan. La salinidad de estas aguas *salobres* está entre la del agua dulce, con un promedio de 0,5 ppt, y la del agua salada.

Cada continente de la Tierra también tiene lagos interiores que son salinos. Algunos de los ejemplos más significativos son el Mar Caspio, de Asia Central, y el Gran Lago Salado, de América del Norte, así como varios lagos salados del Valle Great Rift en África Oriental. Algunos de estos, incluso, son más salinos que el agua del mar. Las aguas adquieren salinidad porque los ríos acarrearán sales que surgen como consecuencia del clima y la disolución de rocas continentales. Cuando el agua se evapora, las sales permanecen y esto da lugar a una acumulación de material disuelto. En cierto momento el agua se *satura* con los sólidos, los cuales se precipitan como sólidos y se estabilizan fuera del agua. Mientras la salinidad de los océanos varía poco a poco, y a lo largo de milenios, la salinidad de las aguas interiores puede variar con más rapidez cuando los patrones de precipitación o nieve derretida cambian.

El contenido de sal de un cuerpo de agua es uno de los factores principales a la hora de determinar el tipo de organismos que pueden ser encontrados en él. Por lo tanto, las aguas dulces y saladas están habitadas por organismos bastante diferentes. Las plantas y animales que viven y usan el agua dulce