

# **La química del Agua**

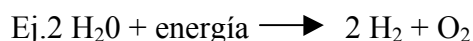
Por:  
Luis Concha Valenzuela

La unidad más pequeña de un elemento químico que mantiene sus propiedades químicas es el átomo, los que son divisibles, pero en este proceso pierden su identidad química. Estos átomos están formados por protones (carga positiva), neutrones (sin carga) y electrones (carga negativa). El núcleo es muy pequeño en comparación con el volumen total del átomo, en él se encuentran los protones y neutrones, y se concentra prácticamente toda la masa del átomo. Los electrones se encuentran formando una nube alrededor del átomo, que es 10.000 veces más grande que el núcleo. Los átomos son neutros, tiene igual cantidad de electrones que protones. El número atómico Z de un elemento nos indica la cantidad de protones que posee en el núcleo, y todos los átomos de un mismo elemento poseen la misma cantidad de protones.

Un **elemento** es la totalidad de átomos de un solo tipo que se caracteriza por tener un conjunto de propiedades muy definidas. Una sustancia elemental o sustancia simple es la que se identifica con un elemento (también se designa a veces como tal) puede estar constituido por unidades de un solo átomo (monoatómicas), Ej. El cobre Cu, el oro Au, o de varios átomos (biatómica cuando son dos elementos) Ej. El nitrógeno N<sub>2</sub>, el oxígeno O<sub>2</sub>. Las **sustancias químicas** que mantiene constante su composición se denominan *compuestos químicos*, la cual no varía al cambiar de estado físico, está formado por un compuesto de átomos muy diferentes entre sí.

Una **molécula** es la menor unidad de materia identificable que consiste en dos o más átomos combinados en proporciones definidas, cuando los átomos son iguales, es una sustancia simple o elemental, cuando son diferentes, es un compuesto.

Las reacciones químicas se presentan como ecuaciones que relacionan las cantidades relativas de **reactantes** (sustancias que reaccionan) y de **productos** que se forman.



En la ecuación se observa que para que esta ocurra se necesita cierta cantidad de energía. A estos procesos que utilizan energía se les llama **reacciones endergónicas o no espontáneas**, ya que requieren energía para que se produzcan. Existen otras reacciones que al producirse liberan energía, a estas se les llama **reacciones exergónicas o espontáneas**. El concepto de espontánea se relaciona con la diferencia entre la estabilidad de los reactantes y de los productos bajo determinadas condiciones, si el producto es más estable que los reactantes, la reacción será espontánea. En una reacción también se puede emitir o absorber calor, y se ocupan los términos **exotérmica o endotérmica** respectivamente.

La **ley de conservación de la masa** dice que la suma de los reactantes debe ser igual a la suma del producto. La estequiometría de una reacción química nos indica la relación entre las masa de los reactantes y la de los productos, mientras que los coeficientes de la ecuación balanceada son los llamados *coeficientes estequiométricos*.

**Composición química del agua:** está formada por dos átomos de hidrógeno unidos a un átomo de oxígeno. Los enlaces H-O son covalentes, dado que comparten un par electrónico. Debido a que el oxígeno tiene un carácter no metálico mayor (posee una mayor electronegatividad), el par electrónico de enlace está más cerca de este elemento que del hidrógeno, determinando la polaridad del enlace. La estructura de la molécula de agua es angular, y el ángulo de enlace es de 105°. La estructura del agua es un dipolo, donde el oxígeno tiene una densidad de carga negativa, y asociado a los hidrógenos encontramos una

densidad de carga positiva. La condición de polaridad de las moléculas del agua hace que estas se atraigan entre sí, generando una interacción molecular entre el polo positivo de una molécula y el polo negativo de otra, mediante una asociación llamada *punte de hidrógeno* o enlace puente de hidrógeno. Desde el punto de vista químico, el agua es considerada como un compuesto.

El agua es fuente de vida, toda la vida depende del agua. Constituye un 70% de nuestro peso corporal y en las algas un 98%. Necesitamos agua para respirar, para lubricar los ojos, para desintoxicar nuestros cuerpos y mantener constante su temperatura. Por eso, aunque un ser humano puede vivir por más de dos semanas sin comer, puede sobrevivir solamente tres o cuatro días sin tomar agua. Las plantas serían incapaces de producir su alimento y de crecer sin el agua. Es un regulador de temperatura en los seres vivos y en toda la biosfera, por su alta capacidad calórica (su temperatura no cambia tan rápido como la de otros líquidos). En la fotosíntesis se utiliza como fuente de átomos de hidrógeno. En las reacciones de hidrólisis, en que las enzimas hidrolíticas han explotado la capacidad del agua para romper determinados enlaces hasta degradar los compuestos orgánicos en otros más simples, durante los procesos digestivos. El agua sirve además para el transporte de sustancias, lubricante, amortiguadora del roce entre órganos, favorece la circulación y turgencia, da flexibilidad y elasticidad a los tejidos. Puede intervenir como *reactivo* en reacciones del metabolismo, aportando iones hidrógeno o bien iones hidroxilos al medio. Es muy importante para nosotros, porque en la formación de nuestro cuerpo y en todos los procesos biológicos se requiere el agua. Si nuestros pulmones no estuvieran siempre húmedos, no podríamos respirar, si la saliva no mojara el alimento, no podríamos ingerirlo. Si el agua que forma parte de la sangre, no transportara los alimentos por todo el cuerpo, nuestras células no se alimentarían, no respirarían y tampoco podrían eliminar las toxinas, si las lágrimas no humedecieran nuestros ojos, éstos se irritarían. Pero así como necesitamos el agua, también la perdemos en grandes cantidades: en la transpiración, eliminamos con el sudor sustancias de desecho que son nocivas para nuestro cuerpo. Al respirar, eliminamos por la boca y la nariz agua en forma de vapor. En la orina expulsamos gran cantidad de desechos. Actúa como catalizador en la cadena de procesos químicos. Una privación prolongada de agua provoca además de una sed intensa y de sequedad de la piel y de las mucosas, fiebre, colapso cardíaco y, en las cosas más graves coma y la muerte. Pero también la ingestión excesiva de agua provocar trastornos que, en casos extremos, resultan mortales.

**Propiedades del agua relacionadas con la T°:** el agua pura es un líquido inodoro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. A la presión atmosférica (760 mm de mercurio), el punto de congelación del agua es de 0° C y su punto de ebullición de 100° C. El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4° C y se expande al congelarse, por lo que disminuye su densidad, lo mismo sucede a medida que aumenta su T° a partir de los 4 °C. Como muchos otros líquidos, el agua puede existir en estado sobreenfriado, es decir, que puede permanecer en estado líquido aunque su temperatura esté por debajo de su punto de congelación; se puede enfriar fácilmente a unos -25° C sin que se congele. El hielo presenta una menor densidad que el agua en estado líquido y, además, exhibe una baja conductividad térmica. Dichas propiedades explican que, a bajas temperaturas, el hielo queda en la superficie de los mares y lagos y no se produce el congelamiento completo de estos depósitos naturales, posibilitando así la existencia de variadas formas de vida acuática. Este fenómeno anterior se relaciona con la

llamada *anomalía del agua*, que es una excepción a la regla general de que los sólidos son más densos que los líquidos: la densidad del agua líquida sobre 0°C es mayor que la del hielo. En estado líquido aumenta hasta alcanzar su valor máximo exactamente a 3,98°C. A temperaturas mayores que esa se comporta de manera normal, vale decir, como los otros líquidos, disminuyendo su densidad cuando la temperatura aumenta. A T° menores que los 0°C, el agua se comienza a dilatar, su densidad es menor que en estado líquido, y al disminuir más la T°, nuevamente comienza a contraerse, como se observa en la siguiente tabla.

Temperatura en °C	Estado	Densidad en g/ml
100	Líquido	0.95838
15	Líquido	0.99913
10	Líquido	0.99973
5	Líquido	0.99999
3.98	Líquido	1.00000
2	Líquido	0.99995
0	Líquido	0.99987
0	Sólido	0.91700
-2	Sólido	0.91718
-4	Sólido	0.91733
-6	Sólido	0.91750

**El “disolvente universal”:** el agua es el líquido que más sustancias disuelve, esta propiedad se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias, ya que estas se disuelven cuando interactúan con las moléculas polares del agua. La capacidad disolvente es la responsable de dos funciones importantes para los seres vivos: es el medio en que transcurren las mayorías de las reacciones del metabolismo, y el aporte de nutrientes y la eliminación de desechos se realizan a través de sistemas de transporte acuosos. A medida que se aumenta la temperatura aumenta la solubilidad en el agua. Tiene una elevada constante dieléctrica, ya que al poseer moléculas bipolares, el agua es un gran medio disolvente de compuestos iónicos, como las sales minerales, y de compuestos covalentes polares como los glúcidos. Las moléculas de agua, al ser polares, se disponen alrededor de los grupos polares del soluto, llegando a desdoblarse los compuestos iónicos en aniones y cationes, que quedan así rodeados por moléculas de agua. Este fenómeno se llama solvatación iónica. Más el agua no disuelve todo, como por Ej. Las grasas, aceites, celulosa, metales nobles, cuarzo y una gran cantidad de materiales de naturaleza muy diversa.

**Los puentes de hidrógeno:** mantienen a las moléculas fuertemente unidas, formando una estructura compacta que la convierte en un líquido casi incompresible. Posee una elevada fuerza de adhesión, ya que los puentes de hidrógeno del agua son los responsables, al establecerse entre estos y otras moléculas polares, y es responsable, junto con la cohesión de la capilaridad, al cual se debe, en parte, la ascensión de la sabia bruta desde las raíces

hasta las hojas. El agua posee un gran calor específico, ya que el agua absorbe grandes cantidades de calor que utiliza en romper los puentes de hidrógeno. Su temperatura desciende más lentamente que la de otros líquidos a medida que va liberando energía al enfriarse. Esta propiedad permite al citoplasma acuoso servir de protección para las moléculas orgánicas en los cambios bruscos de temperatura. La razón que explica la mayor energía que es necesario aplicar para que el agua alcance su punto de ebullición, responde a la formación de estructuras más estables producto de las atracciones ejercidas por los puentes de hidrógeno. Las atracciones establecidas por estos son las que determinan la dureza del hielo y su baja densidad, que a su vez se debe a la estructura abierta del sólido, donde se ordenan las unidades  $\text{H}_2\text{O}$  enlazadas entre sí por enlaces de hidrógeno.

**Tiene un bajo grado de ionización:** la molécula de agua es de carácter polar, por lo que el átomo de hidrógeno tiende a disociarse del átomo de oxígeno, de este modo, de algunas moléculas de agua salta un átomo de hidrógeno hacia una molécula vecina provocando la autoionización de la molécula. De cada 10<sup>7</sup> de moléculas de agua, sólo una se encuentra ionizada.  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$  Esto explica que la concentración de iones hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) y de los iones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) sea muy baja. Dado los bajos niveles de  $\text{H}_3\text{O}^+$  y de  $\text{OH}^-$ , si al agua se le añade un ácido o una base, aunque sea en poca cantidad, estos niveles varían bruscamente. El agua interviene en todas las formas conocidas de vida, por lo que ha sido llamada el *líquido de la vida*, y es el único compuesto químico que se halla en la naturaleza en grandes cantidades y en los tres estados físicos. El fenómeno de auto ionización del agua provee una baja concentración de iones  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$ , lo que explica su casi nula conductividad eléctrica y neutralidad desde el punto de vista ácido-base (la concentración molar de iones hidrógeno y de iones hidróxilo es de  $1 \times 10^{-7}$ ). Recuerda que el pH del agua es 7. La auto ionización se produce, entre otros factores, como consecuencia de la polaridad de las moléculas de agua. Por otra parte, el fenómeno de electrólisis del agua se basa justamente en su naturaleza eléctrica. Dicho proceso no ocurre de manera espontánea, pero puede ser producido por acción de la corriente eléctrica cuando se aplica un potencial eléctrico, suministrado por una pila o batería, a dos placas metálicas sumergidas en una disolución acuosa.

**Electrólisis del agua:** en este proceso se funde o se disuelve el electrolito en un determinado disolvente, con el fin de que dicha sustancia se separe en iones (ionización). Para esto se aplica una corriente eléctrica continua mediante un par de electrodos conectados a una fuente de alimentación eléctrica y sumergida en la disolución. El electrodo conectado al polo negativo se conoce como cátodo, y el conectado al positivo como ánodo. Cada electrodo mantiene atraídos a los iones de carga opuesta. Así, los iones positivos, o cationes, son atraídos al cátodo, mientras que los iones negativos, o aniones, se desplazan hacia el ánodo. La energía necesaria para separar a los iones e incrementar su concentración en los electrodos es aportada por la fuente de alimentación eléctrica. En los electrodos se produce una transferencia de electrones entre estos y los iones, produciéndose nuevas sustancias. Los iones negativos o aniones ceden electrones al ánodo (+) y los iones positivos o cationes toman electrones del cátodo (-). En definitiva lo que ha ocurrido es una reacción de oxidación-reducción, donde la fuente de alimentación eléctrica ha sido la encargada de aportar la energía necesaria. Para este proceso siempre se debe utilizar corriente continua.

## Propiedades físicas del agua

Punto de ebullición (a 1 atm.)	100°C
Punto de fusión	0°C
Densidad	1g/cc en estado líquido a 4 °C y 0,917 g/cc en estado sólido
Tensión superficial	$7,3 \times 10^{-2}$ J/m <sup>2</sup>
Viscosidad	$1,0 \times 10^{-3}$ kg/m seg.
conductividad eléctrica	Muy escasa
¿Regula la T°?	Muy buena, debido a su calor específico de 1 cal/gr.°C
¿Ácida o básica?	Neutra, pH 7
¿Olor, sabor, color?	Inodora, insabora e incolora
Conductividad térmica	la mejor en líquidos después del mercurio
Presión crítica	217,5 atmósferas
Temperatura crítica	374°C

**La tensión superficial:** las fuerzas de atracción y de repulsión intermolecular afectan a propiedades de la materia como el punto de ebullición, de fusión, el calor de vaporización y la tensión superficial. Dentro de un líquido, alrededor de una molécula actúan atracciones simétricas pero en la superficie, una molécula se encuentra sólo parcialmente rodeada por moléculas y en consecuencia es atraída hacia adentro del líquido por las moléculas que la rodean. Esta fuerza de atracción tiende a arrastrar a las moléculas de la superficie hacia el interior del líquido (tensión superficial), y al hacerlo el líquido se comporta como si estuviera rodeado una membrana invisible. La tensión superficial es responsable de la resistencia que un líquido presenta a la penetración de su superficie, de la tendencia a la forma esférica de las gotas de un líquido, del ascenso de los líquidos en los tubos capilares y de la flotación de objetos u organismos en la superficie de los líquidos. Termodinámicamente la tensión superficial es un fenómeno de superficie y es la tendencia de un líquido a disminuir su superficie hasta que su energía de superficie potencial es mínima, condición necesaria para que el equilibrio sea estable. Como la esfera presenta un área mínima para un volumen dado, entonces por la acción de la tensión superficial, la tendencia de una porción de un líquido lleva a formar una esfera o a que se produzca una superficie curva o menisco cuando está en contacto un líquido con un recipiente. A la fuerza que actúa por centímetro de longitud de una película que se extiende se le llama tensión superficial del líquido, la cual actúa como una fuerza que se opone al aumento de área del líquido. La tensión superficial es numéricamente igual a la proporción de aumento de la energía superficial con el área y se mide en erg/cm<sup>2</sup> o en dinas/cm. La energía por superficial por centímetro cuadrado se representa con la letra griega gamma.

Otra definición para la tensión superficial es la energía necesaria por unidad de área para expandir la superficie del líquido, o más concretamente, como el trabajo necesario para incrementar, a temperatura constante, la superficie de líquido en una cantidad igual al área de una cara de un cubo que contiene una masa de líquido igual a un mol de vapor. La tensión superficial disminuye al aumentar la T°, o al agregarle sustancias.

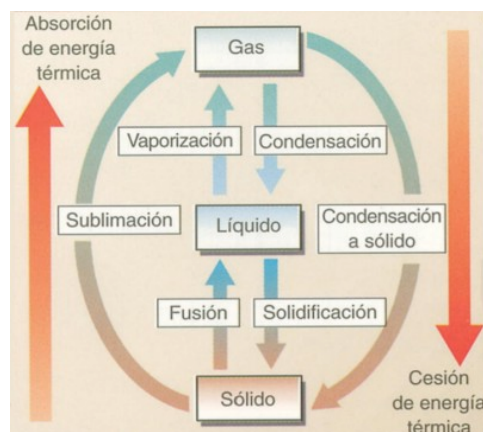
Los valores de la tensión superficial mostraron que las moléculas superficiales tienen una energía aproximadamente 25 % mayor que las que se encuentran en el interior del fluido. Este exceso de energía no se manifiesta en sistemas ordinarios debido a que el número de moléculas en la superficie es muy pequeño en comparación con el número total del sistema. En la práctica, los efectos de superficie son significativos para partículas que tienen un diámetro menor de  $10^{-4}$  cm. la tensión superficial del agua es de 72,75 dinas/cm

**Cambios de fase:** en el proceso de pasar de un estado a otro, se forman o se rompen enlaces *intermoleculares* (entre las moléculas), mientras que los enlaces *intramoleculares* (dentro de la molécula) permanecen intactos, es decir, se mantiene el mismo compuesto sin cambiar sus propiedades químicas, solamente cambia su estado físico. Para que se produzca un cambio de fase es necesario la administración o absorción de calor, lo que se denomina *calor latente*.

**Los sólidos:** se caracterizan por tener forma y volumen constantes. Esto se debe a que las partículas que los forman están unidas por unas fuerzas de atracción grandes de modo que ocupan posiciones casi fijas. En el estado sólido las partículas solamente pueden moverse vibrando u oscilando alrededor de posiciones fijas, pero no pueden moverse trasladándose libremente a lo largo del sólido. Las partículas en el estado sólido propiamente dicho, se disponen de forma ordenada, con una regularidad espacial geométrica, que da lugar a diversas estructuras cristalinas. Al aumentar la temperatura aumenta la vibración de las partículas.

**Los líquidos:** al igual que los sólidos, tienen volumen constante, en los líquidos las partículas están unidas por unas fuerzas de atracción menores que en los sólidos, por esta razón las partículas de un líquido pueden trasladarse con libertad. El número de partículas por unidad de volumen es muy alto, por ello son muy frecuentes las colisiones y fricciones entre ellas, así se explica que los líquidos no tengan forma fija y adopten la forma del recipiente que los contiene. También se explican propiedades como la fluidez, la tensión superficial o la viscosidad. En los líquidos el movimiento es desordenado, pero existen asociaciones de varias partículas que, como si fueran una, se mueven al unísono. Al aumentar la temperatura aumenta la movilidad de las partículas (su energía). En este estado constantemente se están creando y destruyendo los enlaces por puente de hidrógeno

**Los gases:** al igual que los líquidos, no tienen forma fija pero, a diferencia de éstos, su volumen tampoco es fijo. También son fluidos, como los líquidos. En los gases, las fuerzas que mantienen unidas las partículas son muy pequeñas, debido a la gran cantidad de energía cinética que poseen las moléculas. En un gas el número de partículas por unidad de volumen es también muy pequeño. Las partículas se mueven de forma desordenada, con choques entre ellas y con las paredes del recipiente que los contiene. Esto explica las propiedades de expansibilidad y compresibilidad que presentan los gases: sus partículas se mueven libremente, de modo que ocupan todo el espacio disponible. La compresibilidad tiene un límite, si se reduce mucho el volumen en que se encuentra confinado un gas éste pasará a estado líquido. Al aumentar la temperatura las partículas se mueven más deprisa y chocan con más energía contra las paredes del recipiente, por lo que aumenta la presión.



El punto de ebullición de un líquido es la  $T^\circ$  a la cual la presión de vapor del líquido se iguala a la presión atmosférica que se ejerce sobre dicho líquido. A cualquier  $T^\circ$  menor al punto de ebullición, y mayor al punto de fusión, se produce constantemente el fenómeno de la evaporación, que ocurre solamente en la superficie del líquido, debido a que estas moléculas tienen la energía necesaria para escapar del líquido, si esto ocurre en un espacio cerrado, en la superficie de la zona cerrada comienzan a golpear las moléculas, lo que se conoce como *presión de vapor de agua*. El punto de fusión de un sólido a una presión dada (P), es la temperatura a la que el sólido y el líquido están en equilibrio a dicha presión. Se puede decir que el punto de fusión para el agua pura es  $0,0024^\circ\text{C}$ . Cuando se produce el cambio de fase, no hay un cambio en la temperatura del agua, está la mantiene, ya que toda la energía es utilizada para romper los enlaces intermoleculares. Es por eso, que el agua que se produce al fundir el hielo está a  $0^\circ\text{C}$  mientras queda un poco de hielo, o el vapor está a  $100^\circ\text{C}$  mientras quede un poco de agua por ebullición. La presión que actúa sobre el líquido, importa mucho al momento de saber su  $T^\circ$  de ebullición, ya que a mayor presión, se necesitara llegar a una  $T^\circ$  mayor para alcanzar el punto de ebullición, ya que el agua a una presión de 6 pascales se ebulle a  $0^\circ\text{C}$ , mientras que a 1 atm. Se ebulle a  $100^\circ\text{C}$ . El elevado punto de fusión y ebullición del agua se deben a que las moléculas son altamente polares y que en sus estados líquidos y sólidos las moléculas se asocian fuertemente mediante en enlace por puente de hidrógeno. El vapor se transforma en agua cuando disminuye su temperatura o al aumentar la presión.

**La viscosidad:** el movimiento irregular de las moléculas de un líquido o de un gas, da lugar a que una parte de éste pueda desplazarse con respecto a otro fluyendo, sin embargo las fuerzas de atracción entre las moléculas se oponen a este desplazamiento, dando lugar a una resistencia llamada viscosidad. Esta propiedad disminuye al aumentar la  $T^\circ$ , o al aumentar la presión.

**Otras características del agua:** el agua es constituyente importante de la atmósfera, particularmente en las regiones húmedas y templadas, y es el compuesto mayoritario de la hidrosfera. Los primeros organismos vivos se desarrollaron a partir de agua. El 68% del agua en el mundo es salada, el 29% forma parte de los suelos, el 2,997% es agua dulce en forma de casquetes polares, y sólo el 0,003% es agua dulce para el consumo humano. La temperatura y la presión atmosférica determinan los diferentes estados del agua. El vapor de agua es tan liviano, que pesa menos que el aire. Por esta razón puede subir a grandes alturas en la atmósfera y formar nubes. La velocidad del sonido aumenta al elevar la  $T^\circ$ , alcanzando su máximo a los  $75^\circ\text{C}$ . Las reacciones de hidrólisis es una reacción para neutralizar los ácidos y bases, y el agua puede comportarse como un ácido o una base, por lo que decimos que el agua es una sustancia *anfiprótica*. Otra capacidad del agua es que es capaz de absorber el 99% de las radiaciones provenientes del sol. El sonido se puede transmitir bastante bien en los océanos, la aplicación de esto son los sonares que ocupan los submarinos. El agua potable es conductora de la electricidad, contiene aire e iones disueltos.

El agua tiene múltiples usos, pues es una sustancia vital en la supervivencia de los seres vivos, además es muy importante, en actividades agrícolas, industriales y de minería. Para funciones como la refrigeración, alimentación de calderas de vapor y lavado de textiles, el agua debe tener una baja concentración de sales de calcio y magnesio. Las aguas que tienen estas características se denominan *blandas*, mientras que las aguas *duras* contienen una alta concentración de esas sales y no forman espuma con los jabones. Las aguas del norte de Chile son particularmente duras y el carbonato de calcio alcanza en algunas ciudades



concentraciones de alrededor de 800 partes por millón (ppm), lo que significa que 1 millón de gramos o 1000 Kg. de esa agua contiene 800 g de CaCO<sub>3</sub>. El agua de ciudades del sur de Chile, en cambio, es generalmente mucho más blanda y puede contener solo 60 g de CaCO<sub>3</sub> por 1000 Kg. de agua, es decir, 60 ppm de carbonato de calcio.

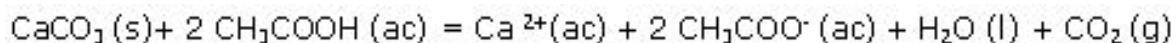
**Aguas duras y blandas:** la piedra caliza, el carbonato de calcio, la dolomita, sal doble de carbonato de calcio, cloruros, sulfatos, nitratos y carbonato de magnesio, se encuentran comúnmente en la superficie de la tierra en ciertos sectores y a menudo penetran en los suministros de agua, por lo que el agua adquiere un alto contenido de iones calcio y magnesio. El carbonato de calcio es insoluble en agua, pero en presencia de anhídrido carbónico, proveniente de la atmósfera, se transforma en bicarbonato de calcio



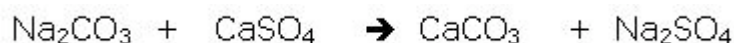
El bicarbonato de calcio en solución acuosa se encuentra como los iones Ca<sup>2+</sup> y como bicarbonato, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. La presencia de una gran cantidad de los iones Mg<sup>2+</sup> y Ca<sup>2+</sup> determina que esta agua sea calificada como agua dura (*K*), que puede distinguirse según su dureza temporal o su dureza permanente. El grado de dureza no afecta a la salud de las personas, pero sí a los procesos de lavados, ya que no deja que se forme espuma por parte de los jabones, y producen costras en las calderas por efecto de las elevadas T°. Cuando la dureza es temporal o también llamada *dureza de carbonatos*, los iones calcio y magnesio se encuentran en forma de bicarbonatos de calcio y magnesio. Esta dureza se elimina por la descomposición térmica de las sales, bicarbonatos de calcio y magnesio, que se encuentran en solución. Al someter a ebullición esta agua, se produce lo siguiente:



El carbonato de calcio y carbonato de magnesio corresponden al sarro que se forma en las teteras, en los hervidores de agua o en las paredes internas de las calderas, por ejemplo. El sarro puede ser disuelto a través de un tratamiento con un ácido débil, como el ácido acético contenido en el vinagre. Luego de aplicar la ebullición, el agua se separa por filtración.



En el caso de la dureza permanente o *dureza de no carbonatos* (solo se puede llegar a ablandar el agua, no quitar la dureza por completo) los iones calcio y magnesio están como sales de sulfato de calcio y sulfato de magnesio. Esta dureza del agua se puede “eliminar” mediante resinas de intercambio iónico (este proceso el agua pasa por unos cilindros que contienen una resina capas de absorber los iones metálicos y se liberan iones de sodio en el agua), no se puede el método de ebullición; otro método alternativo es la adición de carbonato de sodio, con lo que se logra la precipitación del carbonato de calcio y luego filtrar el agua



En general el grado de dureza del agua corresponde a los mg/l de sales de calcio o magnesio, aunque se expresa como mg/l de carbonato de calcio. El agua potable tiene una dureza de 250 mg/l de carbonato de calcio, y el límite es 300. El agua para calderas debe ser blanda.

Concentración de carbonato de calcio en mg/l	Tipo de agua
0-75	Agua blanda
75-150	Agua poco dura
150-300	Agua dura
Sobre 300	Agua muy dura

**Contaminación del agua:** cuando en el agua se encuentran sustancias ajenas a composición normal, se dice que esta agua está contaminada. Existen distintos tipos de contaminación: Por agentes físicos, causada por cualquier componente de origen físico como árboles, ramas, suelo y otros. Por agentes químicos agregados artificialmente al agua, como residuos industriales arrojados a ríos o mares. Por agentes biológicos como bacterias o pequeños microorganismos que viven en el agua. En términos generales, el agua está contaminada naturalmente por agentes físicos y biológicos; en cambio la contaminación química se debe al ser humano. Este proceso se conoce como bioacumulación, y es el problema más serio que debemos enfrentar todos los seres vivos que habitamos la Tierra. Sustancias contaminantes como metales pesados y sustancias orgánicas provenientes de diferentes actividades humanas, se transfieren de un organismo a otro en la cadena alimentaria. El proceso ocasiona serias alteraciones al medio acuático y muchas veces trastornos genéticos que difícilmente se pueden reparar.

**Aguas efluentes:** Cuando un producto de desecho se incorpora al agua, el líquido resultante recibe el nombre de agua efluente. Estas tienen dos orígenes, uno puede ser de origen doméstico y el otro de carácter industrial. La composición de las aguas efluentes se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), y el pH. Los residuos sólidos comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos en suspensión se dividen a su vez en depositables y no depositables, dependiendo del número de miligramos de sólido que se depositan a partir de 1 litro de agua efluente en una hora. Todos estos sólidos pueden dividirse en volátiles y fijos, siendo los volátiles, por lo general, productos orgánicos y los fijos materia inorgánica o mineral. La concentración de materia orgánica se mide con los análisis DBO y DQO. La DBO es la cantidad de oxígeno disuelto empleado por los microorganismos para descomponer la materia orgánica de las aguas efluentes a una temperatura de 20 °C. La DBO suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas efluentes municipales e industriales biodegradables, sin tratar y tratadas. El DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar (poder reductor) la materia orgánica por medio de  $\text{Cr}_2\text{O}_7^-$  en una solución ácida y convertirla en  $\text{CO}_2$  y agua. La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas efluentes que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente.

**Tratamiento de las aguas efluentes:** primero entran en una depuradora contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Estos materiales se eliminan por medio de enrejados o barras verticales. El agua residual pasa a continuación a través de una trituradora, donde las hojas y otros materiales orgánicos son triturados para

facilitar su posterior procesamiento y eliminación. Etapa de “cámara de arena”: Luego pasan a las cámaras aireadas de flujo en espiral con fondo en tolva, o clarificadores, provistos de brazos mecánicos encargados de raspar (raspadores), se elimina el residuo mineral. *Sedimentación*: Una vez eliminada la fracción mineral sólida, el agua pasa a un depósito de sedimentación donde se depositan los materiales orgánicos, que son retirados para su eliminación. El proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión. Para mejorar estos porcentajes se pueden añadir los procesos de *coagulación y floculación*. En la coagulación se agrega el  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$  o polielectrolitos a las aguas efluentes, teniendo la precaución que antes de agregarle los coagulantes el pH debe estar entre 6 y 7. Esto altera las características superficiales de los sólidos en suspensión de modo que se adhieren los unos a los otros y precipitan. La floculación provoca la aglutinación de los sólidos en suspensión. Ambos procesos eliminan más del 80% de los sólidos en suspensión. Una alternativa a la sedimentación, es la *flotación*, en la que se fuerza la entrada de aire en las mismas. El agua efluente, supersaturada de aire, se descarga a continuación en un depósito abierto. En él, la ascensión de las burbujas de aire hace que los sólidos en suspensión suban a la superficie, de donde son retirados. La flotación puede eliminar más de un 75% de los sólidos en suspensión. *La digestión* es un proceso microbiológico que convierte el cieno, orgánicamente complejo, en metano, dióxido de carbono y un material inofensivo similar al humus. Las reacciones se producen en un tanque cerrado o *digestor*, y son anaerobias (olorosa), esto es, se producen en ausencia de oxígeno. La conversión se produce mediante una serie de reacciones. En primer lugar, la materia sólida se hace soluble por la acción de enzimas. La sustancia resultante fermenta por la acción de un grupo de bacterias productoras de ácidos, que la reducen a ácidos orgánicos sencillos, como el ácido acético. Entonces los ácidos orgánicos son convertidos en metano y dióxido de carbono por bacterias. Se añade cieno espesado y calentado al digestor tan frecuentemente como sea posible, donde permanece hasta que se descompone. La digestión reduce el contenido en materia orgánica entre un 45 y un 60%. *La desecación*: El cieno digerido se extiende sobre lechos de arena para que se seque al aire. La absorción por la arena y la evaporación son los principales procesos responsables de la desecación. El secado al aire requiere un clima seco y relativamente cálido para que su eficacia sea óptima, y algunas depuradoras tienen una estructura tipo invernadero para proteger los lechos de arena. El cieno desecado se usa sobre todo como relleno del suelo; en ocasiones se usa como fertilizante, debido a que contiene un 2% de nitrógeno y un 1% de fósforo. Una vez eliminados de un 40 a un 60% de los sólidos en suspensión y reducida de un 20 a un 40% la DBO por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Por lo general, los procesos microbianos empleados son aeróbicos (sin olor). El tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos. En presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables, como  $CO_2$ , agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos. La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor. Esto puede ocurrir por uno de los tres procesos que mencionaremos a continuación: *Filtro de goteo* En este proceso, una corriente de aguas efluentes se distribuye intermitentemente sobre un lecho o columna de algún medio poroso revestido con una película gelatinosa de microorganismos que actúan como agentes destructores. La materia orgánica de la corriente de agua residual es absorbida por la película microbiana y transformada en dióxido de carbono y agua. El proceso de goteo, cuando va precedido de sedimentación, puede reducir

alrededor de un 85% la DBO. También puede ser por *Fango activado* este es un proceso aeróbico en el que partículas gelatinosas de cieno quedan suspendidas en un tanque de aireación y reciben oxígeno. Las partículas de cieno activado, llamadas *floc*, están compuestas por millones de bacterias en crecimiento activo aglutinadas por una sustancia gelatinosa. El *floc* absorbe la materia orgánica y la convierte en productos aeróbicos. La reducción de la DBO fluctúa entre el 60 y el 85 %. Un importante acompañante en toda planta que use cieno activado o un filtro de goteo es el clarificador secundario, que elimina las bacterias del agua antes de su descarga. Otra forma de tratamiento biológico es el *estanque de estabilización o laguna*, que requiere una extensión de terreno considerable y, por tanto, suelen construirse en zonas rurales. En la zona del fondo, donde se descomponen los sólidos, las condiciones son anaerobias; la zona próxima a la superficie es aeróbica, permitiendo la oxidación de la materia orgánica disuelta y coloidal. Puede lograrse una reducción de la DBO de un 75 a un 85 %.

Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento avanzado de las aguas efluentes. A menudo se usa el término tratamiento *terciario* como sinónimo de tratamiento avanzado, pero no son exactamente lo mismo. El tratamiento terciario suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema. El vertido final del agua tratada se realiza de varias formas. La más habitual es el vertido directo a un río o lago receptor, previamente neutralizado el pH. En aquellas partes del mundo que se enfrentan a una creciente escasez de agua, tanto de uso doméstico como industrial, las autoridades empiezan a recurrir a la reutilización de las aguas tratadas para rellenar los acuíferos, regar cultivos no comestibles, procesos industriales, recreo y otros usos.

El proceso de tratamiento comprende los tratamientos convencionales primario y secundario, seguidos de una limpieza por cal para eliminar los compuestos orgánicos en suspensión. Durante este proceso, se crea un medio alcalino (pH elevado) para potenciar el proceso. En el paso siguiente se emplea la recarbonatación para volver a un pH neutro. A continuación se filtra el agua a través de múltiples capas de arena y carbón vegetal, y el amoníaco es eliminado por ionización. Los pesticidas y demás compuestos orgánicos aún en suspensión son absorbidos por un filtro granular de carbón activado. Los virus y bacterias se eliminan por ozonización. En esta fase el agua debería estar libre de todo contaminante pero, para mayor seguridad, se emplean la segunda fase de absorción sobre carbón y la ósmosis inversa y, finalmente, se añade dióxido de cloro para obtener un agua de calidad máxima.

Otro tratamiento es la cámara séptica, es un proceso que suele usarse para los residuos domésticos: es una fosa de cemento, bloques de ladrillo o metal en la que sedimentan los sólidos y asciende la materia flotante. El líquido aclarado en parte fluye por una salida

sumergida hasta el pozo ciego a través del cual puede fluir y filtrarse en la tierra, donde se oxida aeróbicamente. La materia flotante y los sólidos depositados pueden conservarse entre seis meses y varios años, durante los cuales se descomponen anaeróbicamente.

Los olores y sabores desagradables del agua se eliminan por oxigenación. Las bacterias se destruyen añadiendo unas pocas partes por millón de cloro, y el sabor del cloro se elimina con sulfito de sodio. La dureza excesiva del agua, que la hace inservible para muchos usos industriales, se consigue reducir añadiendo cal débil o hidratada, o por un proceso de intercambio iónico, utilizando ceolita como ablandador. La materia orgánica en suspensión, con vida bacteriana, y la materia mineral en suspensión, se eliminan con la adición de agentes floculantes y precipitantes, como alumbre, antes del filtrado. La fluoración artificial del agua para consumo público se lleva a cabo en algunos países para prevenir la caída de los dientes.

**Proceso de purificación natural del agua:** es a través de su ciclo, que contempla evaporación, condensación y filtración. A través de la *evaporación* y su posterior condensación se elimina gran parte de las sustancias disueltas, en particular las sales. El vapor de agua precipita en forma de diminutas gotas (lluvia) o de cristales de hielo (nieve), según cuáles sean las condiciones de temperatura y presión. Por otra parte, el agua superficial penetra hacia el interior de la tierra, *filtrándose* a través de medios permeables como la grava y la arena. En este proceso se separa la mayor parte del material en suspensión. La purificación artificial del agua, que en general es bastante costosa, se realiza en laboratorios por *destilación*. Para ello, se hierve el agua y los vapores se condensan para así obtener agua prácticamente libre de sales. Sin embargo, normalmente contiene disueltos los gases de la atmósfera, en particular el dióxido de carbono, el que produce una acidificación del agua, por lo que esta puede disminuir su pH, llegando hasta valores próximos a 5,0.

**La potabilización del agua:** proceso que consiste básicamente en cuatro etapas: 1) *precloración y floculación*; 2) *decantación*; 3) *filtración*; y 4) *cloración*.

En la primera etapa se eliminan, mediante el tratamiento con cloro, los microorganismos, también se agrega alumbre (sulfato de aluminio y potasio) que neutraliza las cargas de coloides en suspensión produciendo la desestabilización o coagulación de los mismos. La agrupación de las partículas descargadas produce la floculación, es decir, formación de partículas mas voluminosas y pesadas que precipitan en el fondo del estanque de tratamiento. De esta forma se elimina la turbidez del agua. Luego sigue la decantación que es cuando se separa del agua los sólidos que han precipitado traspasando el agua a otro estanque. En un tercer momento (filtración), se filtra el agua para separar las partículas de menor tamaño y, eventualmente, se adiciona carbón activado para eliminar las sustancias que imparten al agua mal sabor y olor. Pasa a la siguiente etapa cuando el agua queda transparente y clara. Finalmente se vuelve a adicionar cloro para eliminar los microorganismos que aún pueden estar presentes en el agua y para desinfectar las cañerías de la red de distribución del agua potable hacia los hogares

También esta el método de la **osmosis inversa**, en este procedimiento el agua de mar se encuentra en un recipiente separado de otro por una membrana semipermeable que solo permite el paso de agua y no de soluto o sales cuando esta agua es sometida a una presión. De manera que en el otro recipiente el agua obtenida es potable.

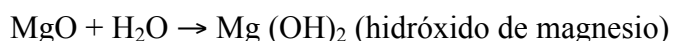
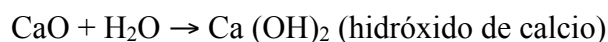
Las aguas contaminadas antes de ser devueltas al mar o reutilizarlas deben ser depuradas, en este proceso se obtiene agua limpia, más no potable. La depuración dependerá del tipo de contaminación que posea el agua, en el caso de las aguas residuales urbanas se debe decantar el agua, pero además es necesario eliminar las grasas y los residuos orgánicos que contiene, esto se logra aplicando al agua un tratamiento de microorganismos que se alimentan de dichos residuos. Este procedimiento exige una elevada mezcla de agua con aire para que se mantengan con vida los microorganismos empleados, ya que necesitan oxígeno. De este proceso se obtiene fangos que se separan por decantación. Se debe señalar que los procesos de depuración del agua son muy costosos.

**Propiedades Químicas del Agua:** muchas de estas reacciones que exponemos a continuación ya son existentes en la naturaleza:

1) **Reacciona con los óxidos ácidos:** Los anhídridos u óxidos ácidos reaccionan con el agua y forman ácidos oxoácidos.

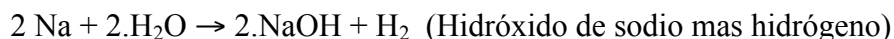


2) **Reacciona con los óxidos básicos:** los óxidos de los metales u óxidos básicos reaccionan con el agua para formar hidróxidos. Muchos óxidos no se disuelven en el agua, pero los óxidos de los metales activos se combinan con gran facilidad.

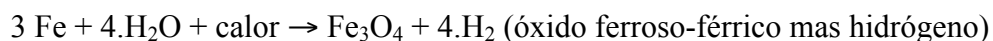
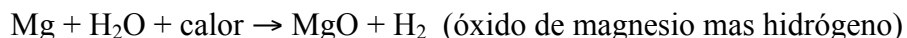


3) **Reacciona con los metales:** Algunos metales descomponen el agua en frío y otros lo hacían a temperatura elevada.

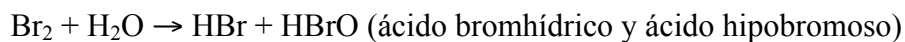
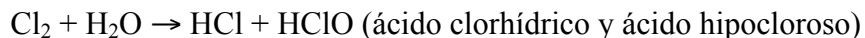
En agua fría



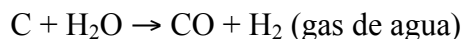
En agua a temperatura elevada



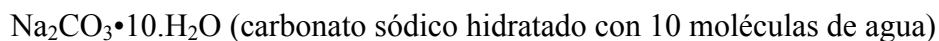
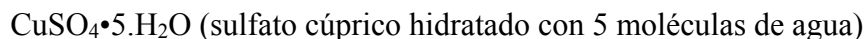
4) **Reacciona con los no metales:** el agua reacciona con los no metales, sobre todo con los halógenos, dando los siguientes compuestos:



Haciendo pasar *carbón al rojo sobre el agua* se descompone y se forma una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno (gas de agua):



5) **Se une en las sales formando hidratos:** el agua forma combinaciones complejas con algunas sales, denominándose *hidratos*, como son:



En algunos casos los hidratos pierden agua de cristalización cambiando de aspecto, y se dice que *son eflorescentes*, como le sucede al sulfato cúprico, que cuando está hidratado es de color azul, pero por pérdida de agua se transforma en sulfato cúprico *anhidro* de color blanco.

Por otra parte, hay sustancias que tienden a tomar el vapor de agua de la atmósfera y se llaman *hidrófilas* y también *higroscópicas*; la sal se dice entonces que *delicuesce*, tal es el caso del cloruro cálcico.