

RECURSOS DEL MAR



Recursos del mar

La lectura empieza con una introducción e informaciones sobre las características de las aguas marinas, que son soluciones que según su origen tienen diferentes composiciones y diferentes concentraciones. A continuación se explica cómo se pueden aprovechar los minerales del mar a las salinas, lugares donde se forman cristales de sustancias iónicas a partir de los iones en solución acuosa, se habla de la utilidad de abocar sal a las carreteras y también de uno de los antiguos grandes usos de la sal, las conservas.

La segunda parte de esta lectura se centra en las desalinizadoras, siempre controvertidas pero a la vez necesarias, y aporta datos de las ITAM de la Tordera y del Llobregat y sobre la explicación de su funcionamiento basado en el proceso de ósmosis inversa a través de membranas semipermeables de última tecnología. También se explican las características de proceso para corregir las características del agua *osmotizada, para corregir las concentraciones de iones, la conductividad y el pH, en definitiva, para convertirla en “agua de boca”.

En la tercera parte, el texto explica cómo obtener más recursos del mar, utilizando los residuos que se generan en el proceso de desalinización. A partir de estos recursos, y mediante reacciones químicas de oxidación-reducción se pueden obtener productos de utilidad industrial para satisfacer necesidades de nuestra sociedad.

Introducción

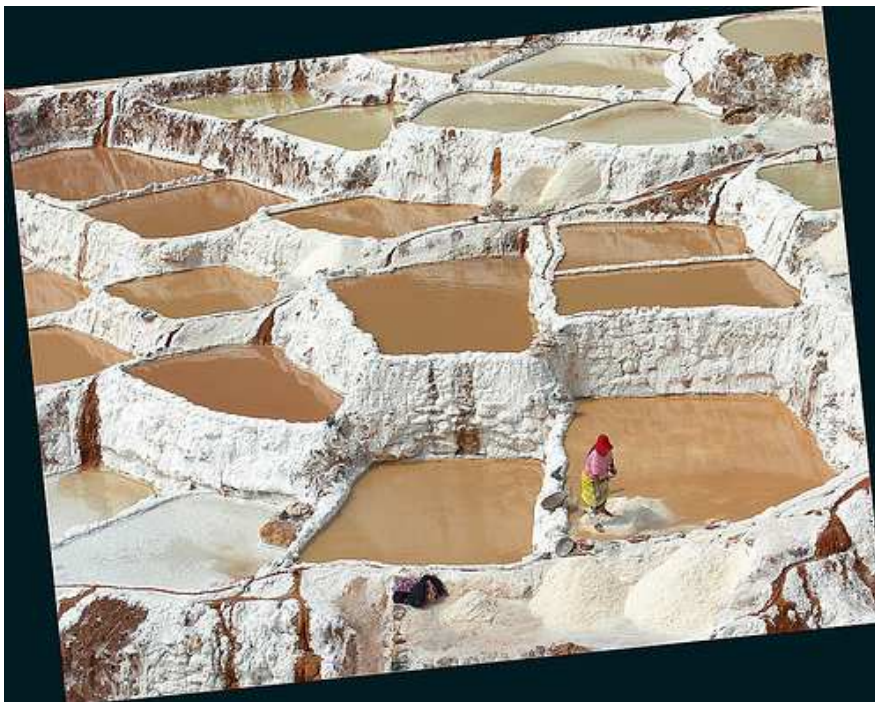


Figura 1: Salinas del Perú

Muchas civilizaciones crecieron alrededor del mar. Estas grandes extensiones de agua salada proporcionaban una fuente de alimentos y un medio de transporte. También obtenían del mar un producto muy importante: la sal (figura 1).

La sal es el condimento que más se utiliza en el mundo y, a pesar de que hoy en día es fácil de obtener, durante mucho tiempo fue un bien muy valioso. Los soldados romanos recibían diariamente una cantidad de sal como pago por su trabajo, era el salario.

En la sociedad actual, hemos añadido otros usos de los mares, por ejemplo también hacemos un uso lúdico, y hemos ampliado los recursos que obtenemos. Ahora extraemos la sal y también el agua. En algunos países, incluso, obtienen energía en las centrales mareomotrices.

Esta lectura, como su nombre indica, trata de los recursos que se obtienen del mar, y pretende acercar esta temática a los lectores así como hacer patentar la contribución de la mirada de la química y sus aportaciones al encontrar soluciones que preocupan a nivel mundial.

Minerales del mar

La sal común que usamos a la cocina proviene del mar, donde está disuelta. La sal es una sustancia pura, pero el agua del mar es una solución.

Cuando se evapora el agua de mar, se pone en evidencia que contiene varios solutos, el más abundante es el cloruro de sodio, de fórmula NaCl , pero también contiene otros solutos como el cloruro de potasio, KCl , el cloruro de magnesio, MgCl_2 , y el sulfato de sodio, Na_2SO_4 .

No todos los mares son igual de "salados", el agua del Mar Muerto es muy salada. La continua evaporación de agua a lo largo de miles de años ha provocado una enorme acumulación de sales de forma que el agua de la mar Muerta es más densa que la otros mares u océanos, y que las sales también *cristalizan a los bordes (figura 2). El agua del Mar Muerto contiene casi 350 g/dm^3 de sales, en comparación con los habituales 35 g/dm^3 del agua de los océanos.

Recursos del mar

Seguro que habréis oído que el agua es el líquido más abundante de la Tierra, puesto que gran parte de la capa superficial de nuestro planeta es agua. En realidad, no es agua pura sino que es una solución acuosa de sales. Nuestro cuerpo, parece que quiere imitar esta característica y el agua con los iones Na^+ y Cl^- se encuentran presentes en nuestros fluidos corporales: una persona adulta contiene unos 300 g de cloruro de sodio, una parte de los cuales son expulsados diariamente en forma de orina y de sudor y hace falta que sean sustituidos porque el cuerpo funcione con normalidad. La tabla 1 indica los principales iones presentes en el agua del mar.



Figura 2: Cristales de sal en las orillas del Mar Muerto

Ión	Masa, en gramos del ión en 1 litro de agua de mar
Na^+	10,7
K^+	0,39
Mg^{2+}	1,29
Ca^{2+}	0,4
Cl^-	19,2
Br^-	0,07
HCO_3^-	0,14
SO_4^{2-}	2,51

Taula 1: Receta per hacerr "agua de mar"

Posiblemente habréis observado que esta mesa no dice que el mar contiene cloruro de sodio, ni sulfato de magnesio, ni cloruro de potasio, por qué en muchas soluciones los solutos son sustancias iónicas y el que hay presente son los iones.

¿De dónde proceden las sales del mar?

Las sales que contienen los mares provienen de procesos de disolución de algunos minerales de las rocas terrestres. Una parte de estos minerales disueltos son transportados por los ríos, y otros provienen de las erupciones *hidrotermales que se producen en el fondo marino.



Figura 3: Bufones de Pría (Asturias). La disolución de la roca por parte del agua deja cavidades por donde sale agua de mar

Recursos del mar

Los minerales que aportan sus iones al agua son sustancias iónicas. En los sólidos iónicos, los iones se mantienen unidos por acción de sus cargas eléctricas opuestas. Cada ión atrae otros de carga opuesta y todos ellos se integran en una estructura gigante.

En el interior de una red de aniones se pueden encontrar cationes diferentes, siempre que las cargas se compensen, de forma que la red sea un conjunto eléctricamente neutro. Un ejemplo de esto es el mineral carnalita (figura 4). En esta sal de composición $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; los iones K^+ y Mg^{+2} se sitúan en la red de iones Cl^- . Aunque el KCl y el MgCl_2 pueden existir por separado como sales, la carnalita no es una mezcla de las dos, sino que es una sustancia diferente, es una sal doble. En estas sustancias los diferentes cationes se sitúan en la red siguiendo una disposición regular.

Observa que la fórmula de la carnalita incluye una molécula de agua. Realmente, el agua no está mezclada con los cristales de carnalita, puesto que si así fuera estarían húmedos. Al contrario, las moléculas de agua están incluidas en la red del mismo modo regular que los iones. Por lo tanto, la red de la carnalita es una estructura compuesta por un entramado de cuatro partículas diferentes: iones K^+ , iones Mg^{+2} , iones Cl^- y moléculas de agua. El agua de estos tipos de compuestos recibe el nombre de agua de cristalización y los cristales se denominan cristales hidratados.

Un caso conocido es lo de los cristales azules del $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (figura 5). Esta sal se denomina "sulfato de cobre (II) pentahidratado"



Figura 5: Cristales de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Los minerales que están en contacto con agua no se disuelven todos por igual. La solubilidad puede variar significativamente de unas sustancias iónicas a otras.

Muchas sustancias iónicas se disuelven fácilmente en agua. Cuando pasa esto, se separan los iones que forman la red iónica. La separación de los iones requiere suministrar energía para vencer la atracción eléctrica entre las cargas de los iones de diferente signo. Las moléculas de agua son polares y las pequeñas cargas eléctricas que se encuentran en las moléculas de agua son atraídas por las cargas de los iones. Esto pasa, en el primer momento de poner el sólido en contacto con el agua (figura 6)

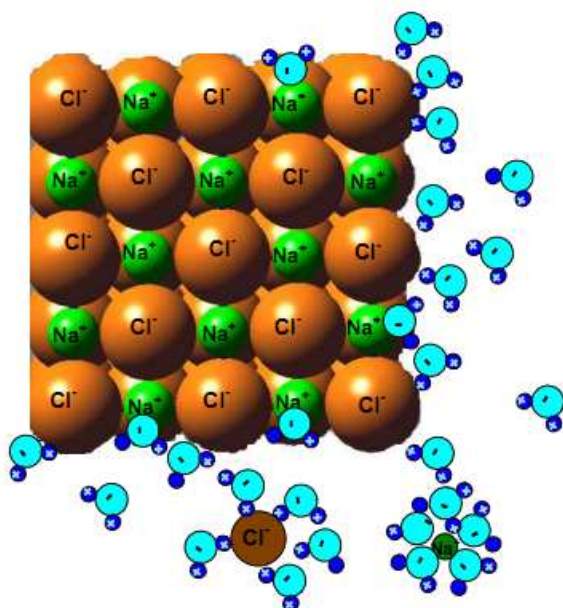


Figura 6: Proceso de disolución
Cristal de NaCl en agua. En ser les
Moléculas de agua polares, cada ión es
Rodeado per moléculas que se orientan
Según la carga de l'ió

Recursos del mar

Los iones en solución están hidratados, existen enlaces entre los iones y las moléculas de agua. La mesa 2 muestra el número aproximado de moléculas de agua que se encuentran unidas a un catión. Podemos observar que los iones más pequeños y con una carga más grande atraen a un número de moléculas de agua más grande. Pueden existir varias capas de moléculas de agua alrededor del ión, por ejemplo el ión Al^{3+} fija ¡queda cercado por 26 moléculas de agua!

Ión	Número de moléculas de agua	Ión	Número de moléculas de agua
Li^+	5	Mg^{2+}	15
Na^+	5	Ca^{2+}	13
K^+	4	Al^{3+}	26

Taula 2: Número de moléculas de agua unidas a un catión

Diferentes mares, diferente salinidad

Si has tenido ocasión de bañarte en diferentes mares u océanos seguro que has notado que no son igual de salados. Para medir la proporción de sal que hay en una cierta cantidad de agua marina, se utiliza el concepto de concentración.

En todas las soluciones hay una sustancia que se disuelve, el soluto (generalmente el que está en proporción menor), y otra, que suele estar en proporción más elevada, el disolvente. El conjunto de las dos sustancias es la solución.

En la figura 7 puedes observar que la concentración total de sales disueltas (salinidad) en los mares y océanos varía mucho. La concentración mediana es de unos 35,5 g/L, en algunas partes del mar Mediterráneo la salinidad supera los 39 g/L y, en cambio, en el mar Báltico no llega a 5 g/L.

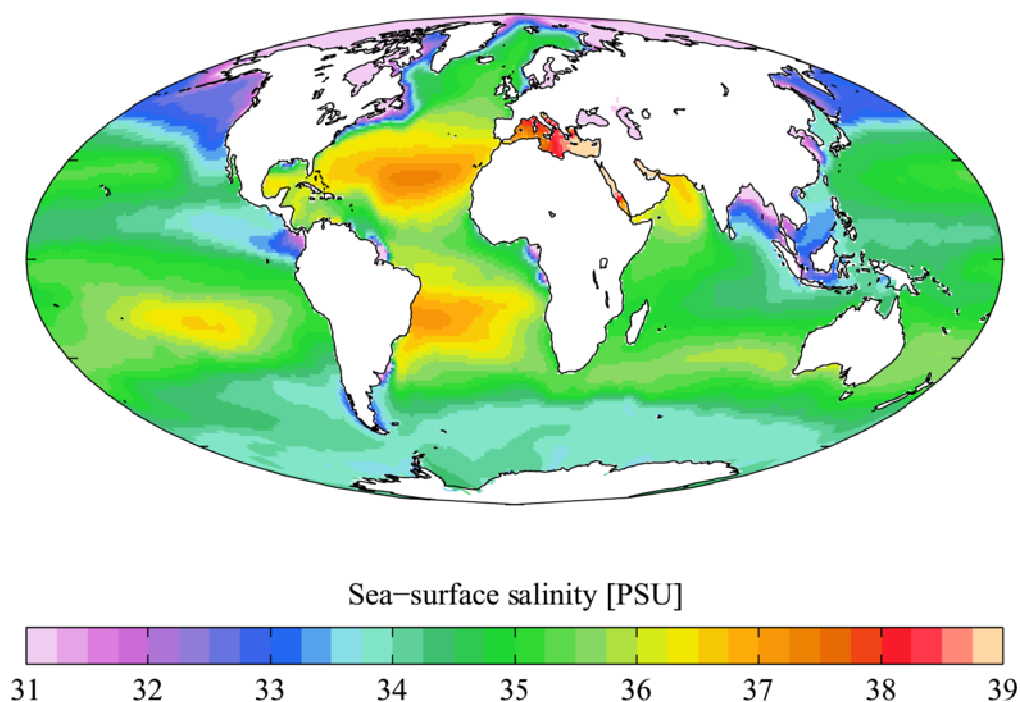


Figura 7: Salinidad promedio anual superficial en los océanos, expresada en gramos de sal por litro. Datos de [World Ocean Atlas 2005](#).

La concentración total de sales disueltas en el mar, o salinidad, suele expresarse en porcentaje en masa, tal como se puede ver en la tabla 3. El porcentaje en masa de un componente de una solución (o de una mezcla cualquier) es igual al cociente entre la demasiada del componente y la masa total de la mezcla. El

Recursos del mar

resultado se multiplica por ciento y se obtiene el % en masa. Ocasionalmente se puede multiplicar por 1000 y se obtiene el ‰.

	mar Mort	mar Roig	mar Mediterrani	oceà Atlàntic	oceà Pacífic	mar Bàltic
Salinidad (‰)	330	40	38	36	36	6

Taula 3: Salinitat de diferents mars expressada en tant per mil

El agua de mar también contiene pequeñas cantidades de gases disueltos. Los más abundantes son el nitrógeno y el oxígeno, seguidos del dióxido de carbono y de algunos gases nobles (argón y neón). Para estos solutos la concentración se puede expresar en porcentaje en volumen.

Aprovechamiento de los minerales del mar

Ya hemos visto que el agua del mar contiene una gran cantidad de sales disueltas, especialmente de cloruro de sodio. ¿Cómo aprovechamos este recurso?

Las salinas

Para obtener las sales disueltas en el agua marina se deja evaporar el agua en las salinas (figura 8). Al irse evaporando el agua, van quedando unos pequeños cristales de forma cúbica de cloruro de sodio. El hecho que la sal se puede cristalizar es una propiedad característica del cloruro de sodio. A la naturaleza encontramos cristales sedimentarios, formados por procesos geológicos muy lentos al evaporarse el agua que contendía los solutos.



Figura 8: Sal obtenida en les salines

¿Pero qué ocurre cuando se evapora el agua del mar? Es como el proceso inverso de hacer una solución. Por lo tanto, los iones cristalizarán como sales idénticas a las disueltas. Estas sales tienen distintas solubilidades por lo cual empezarán a cristalizar en instantes diferentes a medida que el volumen de la solución disminuya. Como que se va evaporando el agua, la solución es cada vez más concentrada hasta que se llega a la solución saturada, en la cual la concentración es igual a la solubilidad de la sal. A partir de este punto la sal cristaliza.

En el caso del agua de mar, las fases en el proceso de evaporación se indican a la figura 9. Las primeras sales en cristalizar son las sales de calcio, después precipita el cloruro de sodio y finalmente precipitan las sales de potasio y magnesio. Por eso, es muy importante que en las salinas no se deje evaporar totalmente el agua del mar, puesto que también cristalizarían los otros solutos, entre ellos el cloruro de magnesio, que es muy amargante.

Recursos del mar

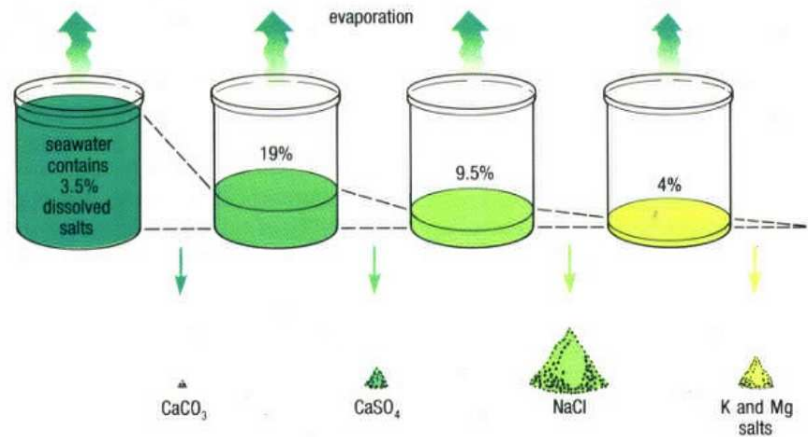


Figura 9: Fases en la evaporación n del agua del mar

Se dan casos en que se puede sobrepasar el punto de saturación, sin que la sal cristalice, y se consigue tener una solución con más soluto disuelto del que corresponde a una temperatura determinada. Esta solución se denomina sobresaturada. La solución no se mantiene estable y si se remueve o se introduce un objeto dentro, inmediatamente el exceso de soluto cristaliza. Con casi todos los solutos, este fenómeno va acompañado de liberación de energía en forma de calor.

La conservación de los alimentos

La sal obtenida a las salinas ha sido tradicionalmente utilizada para la conservación de los alimentos.

Una de las formas de conservar los alimentos es por el fenómeno de la deshidratación, de forma que los microorganismos no puedan crecer ni reproducirse por falta de agua. Son un ejemplo las conservas de pescado que se hacen en sal, como el bacalao o los arenques (figura 10).

El proceso consiste al dejar el alimento rodeado de sal durante un cierto tiempo. En este proceso, el agua que contienen las células sale, atravesando las membranas celulares, con objeto de que el sistema formado por las soluciones del interior de las células del exterior lleguen a tener la misma concentración. El fenómeno que se produce se denomina ósmosis. Se entiende como ósmosis la tendencia a pasar disolvente atravesando una membrana semipermeable de la solución menos concentrada a la más concentrada.

Sal en las carreteras

La sal común tiene otras utilidades que no están relacionadas con los alimentos. Seguro que sabéis que cuando ha nevado o hay riesgo de nevadas se tiran cantidades importantes de sal a las carreteras. ¿Cuál es el motivo?

Cuando se tira sal a la carretera, el agua sólida (hielo o nieve) se funde, a pesar de que estamos a temperaturas menores que la temperatura de solidificación del agua. Esto es porque las soluciones tienen temperaturas de solidificación diferentes de las del disolvente. La temperatura a la cual congela una solución disminuye proporcionalmente a la molalidad. Esta propiedad se denomina “descenso crioscópico”. Por lo tanto, si el agua que puede cubrir la lo firme de la carretera, congela a 0°C , al añadir sal se formará una solución, de tal manera que para congelarse y formar una capa de hielo a la carretera, tendría que hacer más frío. La cantidad de sal que se tira, impide que aunque la temperatura baje unos cuantos grados bajo cero, haya congelación, pues por cada 58,5 g de NaCl disueltos en 1 litro de agua, la temperatura de congelación disminuye en $3,7^{\circ}\text{C}$ (figura 11).



Figura 11: Se echa sal per evitar la formación de capas de hielo

Las soluciones también experimentan cambios en la temperatura de ebullición puesto que la temperatura de ebullición de una solución aumenta respecto a la del disolvente puro proporcionalmente a la concentración de soluto. Esta propiedad se denomina “aumento ebulloscópico”.

¿Cómo se explican estos cambios en las temperaturas de fusión y de ebullición?

Tanto el descenso crioscópico como el ascenso ebulloscópico implican que se tiene que tener en cuenta las fuerzas intermoleculares entre moléculas de agua y los iones de los solutos. Los líquidos están formados por partículas en un estado de desorden relativo y en movimiento constante, y los gases están formados por partículas en movimiento caótico y con un estado de libertad casi total. El paso de líquido a gas, implica la separación de las partículas y un aumento de la velocidad a la cual se mueven, es decir, un aumento de la energía cinética. De forma que para pasar del estado líquido al estado gas, hay que vencer las fuerzas que unen las moléculas de agua entre sí. En una solución hay que vencer las fuerzas entre moléculas del disolvente y las fuerzas entre las moléculas de disolvente y las de soluto, esté formado por iones o por moléculas. Por eso hay un aumento de la temperatura de ebullición.

De manera parecida podemos explicar el fenómeno del descenso crioscópico: ahora hay que pasar de un estado de desorden relativo a un estado mucho más ordenado, como es el estado sólido. La disminución de la velocidad, y por lo tanto, de energía cinética afecta a las moléculas de soluto y a la creación de un orden donde intervienen también las partículas que forman el soluto. Por lo tanto hay que “extraer” más energía del sistema.

¿Océanos de oro?

El agua del mar representa el 97% del total de agua del planeta y contiene muchas sustancias disueltas. A la mesa 1 hemos visto los iones más abundantes que hay en el agua de mar, se puede ver que el sodio y el cloro son los elementos más abundantes, pero no son los únicos que se encuentran. Hoy en día se considera que prácticamente todos los elementos están presentes a los océanos. En la tabla 4 se muestran algunos ejemplos.

Concentración de algunos elementos en agua de mar (mg·L ⁻¹)			
Elemento		Elemento	
Cl	1,95·10 ⁴	U	3,2·10 ⁻³
Na	1,08·10 ⁴	Ag	2,4·10 ⁻⁴
Mg	1,29·10 ³	Ne	1,2·10 ⁻⁴
S	9,05·10 ²	Th	10 ⁻⁵
Br	67	Au	10 ⁻⁶

Taula 4: Concentración de algunos elementos en agua de mar

A la vista de estas concentraciones, ¿podríamos obtener oro de los océanos?

Fritz Haber fue un químico alemán brillante que desarrolló un proceso para producir amoníaco, a partir de los gases nitrógeno del aire e hidrógeno, durante la Guerra Mundial de los años 1915 a 1918. Al acabar la guerra, Haber decidió que las deudas de su país provocados por la guerra se podían cancelar mediante la

Recursos del mar

extracció de oro del mar.

Haber calculó que se podían extraer enormes cantidades de este metal precioso mediante aparatos especiales adaptados a los barcos. Durante los años 20, los barcos alemanes navegaron por todo el mundo con la esperanza de volver cargados de oro, pero no lo consiguieron, porque la cifra dada por Haber para la concentración de oro era excesivamente alta.

Aprovechamiento del agua del mar:

Las plantas desalinizadoras

Disponer de sal fue un hecho determinante para las sociedades durante mucho tiempo, especialmente para las que vivían en climas cálidos, puesto que era la base de un gran método de conservación de los alimentos.

Actualmente, las sociedades desarrolladas no tenemos este problema, pero ha aparecido otro que también nos ha hecho mirar los mares: la falta de agua potable en determinadas regiones del planeta. El texto siguiente extraído de La Vanguardia (20-21 de marzo de 2008, páginas 18 y 19), refleja este problema.

LES SEQUERES AFFECTARAN A LA PRODUCCIÓ D'ALIMENTS I ENERGIA I AL DESENVOLUPAMENT DE L'ECONOMIA

El problema va més enllà de les mesures per estalviar aigua potable en un àrea concreta o d'un possible transvasament del Segre o del Roina o de la sequera que desertitza una zona.

La falta d'aigua dolça és un problema de dimensions globals, que s'agreuja a mesura que els països en desenvolupament adoptin els estils de vida dels rics i que amenaga amb limitar la producció d'aliments, la generació d'energia i el desenvolupament econòmic a escala mundial.

Els experts de les Nacions Unides, demanen més investigació per millorar l'explotació de l'aigua i una millor gestió dels recursos hídrics. Segons l'O.N.U a l'any 2025 més de la meitat dels països del món patiran dèficit d'aigua i al 2050 les persones afectades representaran el 75% de la població mundial.

La primera víctima de la manca d'aigua potable és la salut dels ciutadans, especialment els de països pobres. La falta d'aigua potable causa un milió i mig de morts de nens i nenes a l'any o una cada 20 segons.



L'objectiu de les Nacions Unides aspira a reduir a la meitat la població que no té accés a l'aigua potable en el període 1990-2015

Actualment 1200 milions de persones (23% de la població mundial) no disposen d'aigua potable i 2600 milions no tenen un sistema bàsic de gestió d'aigües fecals.

L'ONU preveu que 2100 milions de persones seguiran sense les canalitzacions de l'aigua al 2015. A l'Àfrica l'objectiu no s'assolirà fins l'any 2076

La segona víctima de la crisi serà la producció d'aliments. A l'Índia més del 90% de l'aigua dolça serveix per regar. Segons les previsions de l'ONU, l'Índia necessitarà a mitjans del segle un 30% més de l'aigua de la qual disposa en l'actualitat.

Un kg de carn de vedella requereix 15.500 litres d'aigua, per cultivar els vegetals que alimenten l'animal. Si afegim que el canvi climàtic està portant la sequera a regions del planeta amb gran densitat de població i està encongint glaceres que alimenten rius com el Ganges a l'Índia o el riu groc a la Xina, el dèficit d'aigua pot afectar zones que fins ara han tingut excedents d'aigua.

Els especialistes en el tema demanen desenvolupar amb urgència nous conreus resistents a la calor i a la sequera, ho

explica David Lobell investigador agrícola a la universitat de Stanford als EEUU. Com que el desenvolupament d'un nou conreu ens porta 15 anys hem d'actuar amb rapidesa.

Els científics alerten sobre l'impacte de la falta d'aigua en la producció d'energia. A França l'estiu del 2003 va suposar una pèrdua de producció d'energia nuclear del 15% al no poder refrigerar els reactors i d'un 20% en la producció de la hidroelèctrica. En el futur els investigadors preveuen que el sector de l'energia entri en competència amb d'altres sectors per l'ús dels recursos d'aigua limitats que condicionaran el creixement econòmic. Els investigadors de la Universitat d'Illinois i de l'Institut de tecnologia de Massachusetts asseguren en un article de la revista Nature

Recursos del mar

que, " es poden desenvolupar nous mètodes de purificació de

l'aigua que siguin sostenibles, segurs i útils a tot el món.."

EL FUTUR ESTÀ EN DESSALINITZAR: LES PLANTES DESSALINITZADORES SÓN L'OPCIÓ MENYS CONFLICTIVA.

La instal·lació de sistemes de purificació d'aigua més potents, la reutilització de l'aigua de depuradora i la construcció de dessalinitzadores són algunes tendències pel futur de la gestió de l'aigua.

<p>A mesura que s'identifiquen nous contaminants per l'aigua, fan falta nous tipus de filtres per evitar els riscos sanitaris. A més a més de l'arena i el carbó actiu, s'utilitza el clor per matar virus i bacteris. Nous tractaments que combinen els efectes dels rajos ultraviolats, el clor i de l'ozó i el clor, milloren la desinfecció i dupliquen les barreres als elements patògens. Un altre objectiu és eliminar els trihalometans.</p>	<p>Aquestes substàncies són perillosos contaminants, derivats de la interacció del clor amb l'aigua salina amb molta matèria orgànica. El contingut en trihalometans a les aigües potables ha de ser inferior a 100 µg/L. A la planta potabilitzadora d'Abrebra al Llobregat, el cabdal se sotmet a un tractament amb electricitat, al passar per una pila (electrodialisi reversible) per separar les sals de l'aigua.</p>	<p>Un altre sistema és la reutilització. A la planta depuradora del Prat, els cabdals que arriben des de les cloaques són regenerats i serveixen per anegar els aiguamolls del delta del Llobregat. Ja fa temps que a Califòrnia utilitzen aquesta tècnica i de fet el seu ús en el delta serveix també per fer pujar el nivell de l'aigua subterrània e impedir que entri la cunya d'aigua salina del mar.</p>
---	--	--

El taló d'Aquiles de la dessalinització és el seu rendiment energètic. Les plantes requereixen un gran consum energètic perquè el cabdal d'aigua ha de passar a molta pressió (60 atmosferes), per poder travessar les membranes semipermeables que com a filtres - barrera retenen les sals. Les primeres plantes als anys 70 del segle passat, necessitaven 20kWh per cada metre cúbic. Ara en necessiten entre 3 i 4 kWh/m³. Abans es construïen sobretot en els països àrabs de clima desèrtic i amb recursos energètics, però avui s'estén en el Mediterrani. A Israel funciona la planta d'Ashkelon (100 hm³), a Austràlia la de Perth (45hm³). Aquesta és l'opció del govern català per solucionar els déficits de la regió de BCN.



El agua dulce

La utilización del agua está íntimamente ligada a la actividad humana, tanto a nivel de lo cotidiano como nivel industrial.

El agua dulce contiene, de forma natural, sales minerales con diferentes proporciones según las regiones y comarcas que atraviese. Los iones calce, magnesio, sodio, potasio, sulfatos y los cloruros son los componentes presentes de forma natural en el agua dulce e imprescindibles para nuestro cuerpo. Los iones sodio se encuentran en el agua en concentraciones muy variables. El hombre puede tolerar los iones sodio hasta un valor límite de 150 mg/L en el agua. Los iones potasio juegan un papel muy importante en la salud puesto que la transmisión del flujo nervioso necesita de estos iones. Las aguas de consumo pueden llegar a una concentración de 12 mg/L de iones potasio sin que sea perjudicial para nuestra salud. Los iones sulfato pueden ser ingeridos hasta un valor de 250 mg/L en el agua pero pueden producir efectos purgantes si se ingieren a dosis altas, de la orden de 1000 mg/L. Los iones cloruro son absorbidos por el cuerpo a través de los alimentos, el cuerpo humano puede tolerar un máximo de 200 mg/L en el agua. La figura 12 muestra un ejemplo de la composición del agua dulce de los ríos.

Pero actualmente al agua dulce podemos encontrar otros iones que provienen principalmente de las malas prácticas humanas. Una fertilización exagerada de los sólo ha traído a un aumento de la concentración de iones nitratos en las aguas. El derramamiento de iones de metales *pesados como el ión plomo (II), el ión cromo (III), utilizados en la fabricación de pinturas, ha hecho elaborar una legislación medio ambiental nueva en Europa y poner puntos de controles rigurosos en las salidas de las aguas residuales de muchas industrias.

Dureza del agua

Algunos iones presentes de manera natural en el agua dulce como el Ca^{2+} y Mg^{2+} a veces están en concentraciones demasiado elevadas. Son “aguas duras” y no son recomendables por quienes sufre del riñón ni para preparar los alimentos para los bebés. Las poblaciones de la costa, tienen aguas de media o de elevada dureza, las aguas de los pueblos del Pirineo, acostumbran a tener una dureza muy baja (figura 13).

Las aguas duras pueden acontecer un problema a la vez de limpiar la ropa o la vajilla. Los detergentes forman espuma tanto con aguas duras como blandas, mientras que los jabones, forman unos grumos que impiden la formación de las micelas, y son poco útiles cuando el agua del grifo tiene un cierto grado de dureza. Cuando el agua es muy dura hay que añadir un producto descalcificando para eliminar los iones calce y los iones magnesio del agua y evitar que algunos electrodomésticos acaben deteriorándose rápidamente

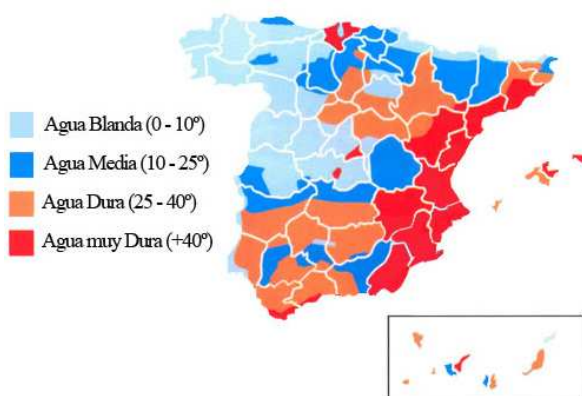


Figura 13: Mapa de la dureza de agua en España

Un método de eliminación consiste al hacer reaccionar los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} con otros iones de forma que se forme un compuesto insoluble, mediante una reacción de precipitación. Las reacciones de precipitación pueden permitir variar la dureza del agua y también se pueden utilizar para eliminar otros iones en aguas contaminadas.

Para evitar los problemas derivados de las aguas duras, algunas personas instalan aparatos descalcificadores en sus domicilios. Estos aparatos utilizan resinas de canje iónico que atrapan los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} y los cambian por iones Na^+ .

Agua de mar para beber

Las plantas desalinizadoras tienen un reto importante: eliminar buena parte de las sales disueltas en el agua hasta transformar el agua salada en agua dulce. Tienen que transformar el agua del mar, con una salinidad de 39700 ppm, en agua potable con una salinidad de 110 ppm.

El proceso de desalinización puede desarrollarse por medio de diferentes tecnologías, pero en el Mediterráneo la más empleada es la ósmosis inversa.

Funcionamiento de las plantas desalinizadoras

La ósmosis es un proceso espontáneo, que tiende a igualar las concentraciones a los dos lados de una membrana semipermeable y establece un flujo de agua desde la solución menos concentrada a la más concentrada. Si queremos invertir este proceso, se tiene que compensar la “presión osmótica”, haciendo nosotros una presión extra sobre la parte del líquido de más concentración. De este manera, el agua de una solución concentrada, como agua de mar, pasa a través de la membrana constituyendo la llamada agua osmotizada a la vez que aumenta la concentración del agua salada inicial, Este proceso se denomina ósmosis inversa y permite obtener agua osmotizada o desalinizada a partir de una solución acuosa concentrada en sales como el agua del mar (figura 14). La ósmosis inversa consiste básicamente al bombear agua a alta presión hacia una membrana semipermeable que retiene las sales disueltas en el agua

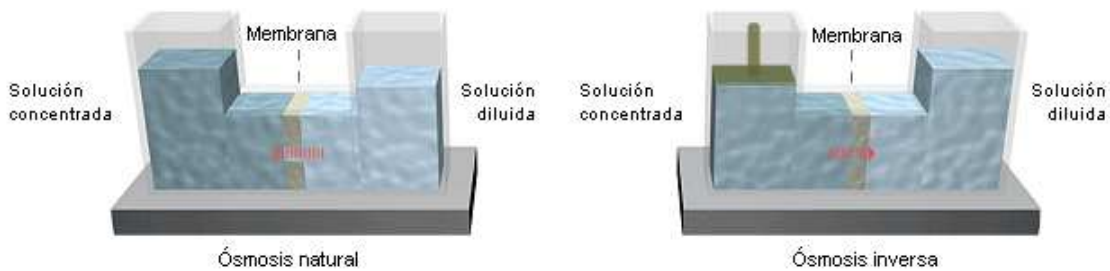


Figura 14: A la izquierda el proceso espontáneo de osmosi. A la derecha el proceso de osmosis inversa, que requierex altas presiones



Figura 15: Móduols de membranas

Las plantas desalinizadoras, el equipo de bombeo de alta presión está compuesto por turbobombas que hacen subir la presión del agua hasta 700 N/cm^2 . Esto es el equivalente a 70 veces la presión atmosférica normal. Las turbobombas inyectan agua a presión a los bastidores de membranas. Cada bastidor está compuesto de ochenta módulos de membranas (figura 15).

Las membranas están enrolladas en espiral alrededor de un tubo central. Cada paquete consta de una lámina rectangular de membrana semipermeable doblada por la mitad de forma que la capa activa quede suyo exterior. Entre las dos mitades se coloca un tejido proveído de canales diminutos para recoger el agua osmotizada que atraviese la membrana y conducirlo hacia el tubo central de recogida (figura 16)

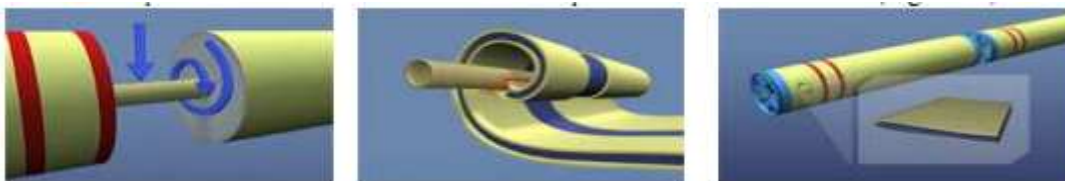


Figura 16: Enrollamiento de las membranas semipermeables

El agua bombeada desde la turbobomba hacia los bastidores de membranas se divide en dos: el agua osmotizada, que es la que consigue atravesar las membranas y tiene un contenido mínimo de sales, y el agua rechazada, que no consigue atravesar la membrana y tiene una concentración superior de sales. La proporción de agua osmotizada respecto al agua marina bombeada es aproximadamente del 45%

Desde el año 2003 está en funcionamiento la instalación de tratamiento de agua marina (ITAM) de la Tordera, situada a Blandas (figura 17). Tiene una función de abasto de agua potable a los municipios: Arenys de Mar, Arenys de Munt; Calella, Canet de Mar, Malgrat de Mar, Palafolls, Pineda de Mar, Sant Cebrià de Vallalta, Sant Iscle de Vallalta, Sant Pol de Mar y Santa Susanna, Tossa de Mar y Lloret de Mar y Blanes; y otra función medioambiental puesto que se pretende la recuperación del acuífero del delta del Tordera haciendo que este disponga de más cantidad de agua para frenar totalmente la intrusión marina



Figura 17: ITAM Tordera

Mediante diez pozos de 150 m de profundidad situados paralelamente a la línea de la costa se capta agua marina y no agua dulce procedente del acuífero



Figura 18: ITAM Llobregat

El verano del 2009 entró en servicio la desalinizadora del Llobregat (figura 18), la más grande de Europa para el abasto urbano. Esto permite incrementar la garantía y la disponibilidad de agua al área metropolitana de Barcelona y en las comarcas del Penedès, el Baix Llobregat, el Anoia, el Garraf, el Barcelonès, el Vallès Occidental, el Vallès Oriental y el Maresme.

Del agua desmineralizada al agua potable

El agua obtenida por la ósmosis inversa es agua desmineralizada, y todavía no es apta para el consumo humano. El agua desmineralizada es agua pura con concentraciones muy pequeñas de iones. Por eso tiene una conductividad inferior a $1 \mu\text{S}/\text{cm}$. La conductividad es debida a la presencia de iones que se desplazan en presencia de un campo eléctrico.

El agua potable tiene que contener iones en concentraciones adecuadas. En la tabla 5 se pueden comparar los valores de diferentes parámetros químicos correspondientes al agua marina y el agua que sale de la desalinizadora. También se indican los valores límites de estos parámetros de forma que el agua de consumo humano sea saludable y limpia y no suponga un riesgo para la salud humana (anexo 1 del Real decreto 140/2003).

Parámetros químicos	Agua marina	Agua que proporciona la desalinizadora	Valores límite RD 140/2003
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	2169	520	2500
Ión cloruro (mg/L)	790	115	250
Ión sodio (mg/L)	360	50	200
Ión sulfato (mg/L)	159	42	250
Ión potasio (mg/L)	4,9	1,5	-
Ión calcio (mg/L)	470	20,3	-

Taula 5: Parámetros químicos de agua de mar y de la que se obtiene en la desalinizadora

Para convertir el agua desmineralizada en agua potable se añaden sales a esta agua. Los iones que aportan son necesarios para el cuerpo y son los que determinan las propiedades organolépticas del agua. En la tabla 5 se ven algunos de los parámetros que hay que controlar, como son las concentraciones de algunos iones y la conductividad del agua, que es un indicativo de la cantidad total de iones en solución.

Corrigiendo el pH

Otra de las propiedades que se analiza en el agua es su pH. Probablemente habéis oído que el agua es una sustancia neutra, de pH 7, pero hay que tener presente que los iones que contiene pueden modificar ligeramente este valor. El pH del agua potable tiene que estar entre 6,5 y 8,5. Por eso, hay que modificar el pH del agua desmineralizada para que su pH sea adecuado. Pero, ¿qué significa el pH? ¿Y cómo se puede modificar?

El pH de una solución nos indica si es ácida, básica o neutra. Los ácidos son sustancias que presentan unas propiedades similares entre sí, aunque sean compuestos muy diferentes. El mismo pueden decir de las bases.

Una propiedad muy interesante que tienen los ácidos y las bases es que se neutralizan entre sí. De forma que este será el camino que se utilizará para corregir el carácter ácido o básico de cualquier solución.

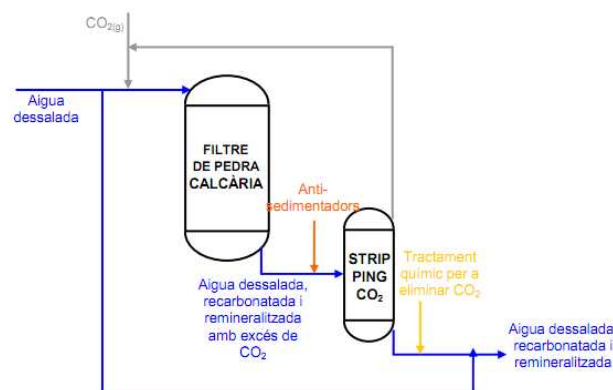
En el agua pura, existen los iones H^+ , en forma de H_3O^+ y OH^- , cada uno en una concentración de $1 \cdot 10^{-7}$ M; por lo tanto el pH del agua y de cualquier solución neutro es $\text{pH}=7$.

El agua de mar tiene un $\text{pH}=8,3$. Y el agua desmineralizada que se obtiene en la ósmosis inversa suele tener un $\text{pH}=4,95$. Se trata de una solución ácida.

En la unidad de post-tratamiento con mineralización (figura 19), se añade CO_2 y se hace pasar el agua desmineralizada por un filtro de piedra calcárea (carbonato de calcio). Esta mezcla neutraliza el exceso de iones oxonio y deja el pH del agua en 7,34, dentro de los límites del agua potable.

Al producto resultante se añade dióxido de cloro, para asegurar la desinfección, y ya es agua apta para el consumo

Figura 19: Esquema del remineralización de agua



método de desmineralizada

Otras maneras de aprovechar el agua de mar

La desalinización permite obtener agua potable a partir del agua del mar, pero genera como residuo una solución muy concentrada de sales conocida como salmuera. ¿Cómo se trata este residuo? ¿Qué se puede hacer con la salmuera?

Muchas plantas desalinizadoras envían esta salmuera mar adentro. A pesar de que se evita que la salinidad del agua suba por encima de los 40 g/L (límite que permite el equilibrio biológico), se puede pensar en alguna otra manera de reciclar este residuo y así evitar abocarlo al mar (figura 20).



Figura 20: Coral balquedo en la costa de Australia a causa del aumento de la salmuera debido a la planta de desalinización local

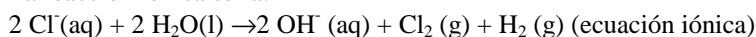
La solución más fácil sería evaporar el agua y obtener la sal. Pero, tal como hemos visto anteriormente, este método se conoce desde hace mucho tiempo, ya hay muchas salinas y no sería rentable económicamente. Otra solución que se propone, a pesar de que todavía no es viable, es la electrólisis de la salmuera. Este proceso consiste en provocar una reacción química de oxidación-reducción que convierta los iones presentes en la salmuera en otros compuestos de interés para la industria.

Procesos muy importantes como son la obtención de metales, el proceso de oxidación de un metal y, incluso, la respiración celular de los seres vivos, son ejemplos de reacciones redox.

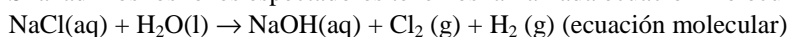
La electrólisis de la salmuera

Las reacciones de oxidación-reducción se pueden ser espontáneas como es el caso de las pilas voltaicas. Pero, también se pueden llevar a cabo mediante una corriente eléctrica, el proceso se conoce con el nombre de electrólisis.

En las salmueras se puede provocar la reacción de oxidación-reducción entre los iones cloruro y el agua. La reacción iónica sería:



Si añadimos los iones espectadores tenemos la llamada ecuación molecular:



En la reacción anterior, el cloruro se oxidaría y el agua se reduciría. Los productos obtenidos, hidróxido de sodio, cloro e hidrógeno, tienen gran importancia a nivel industrial.

Obtención de bromo a partir del agua de mar

En algunos mares, como el Mar Muerto, que tienen una concentración en iones Br^{-} bastante elevada, es industrialmente factible, obtener bromo, Br_2 , a partir del agua de aquel mar.

El bromo actualmente es un importante artículo industrial que se manufactura a gran escala. Su aplicación más importante es la producción de ignífugos. Se usa también en la purificación de agua y en la manufactura de colorantes y productos agrícolas. El proceso industrial de obtención queda esquematizado en el diagrama de la figura 21.

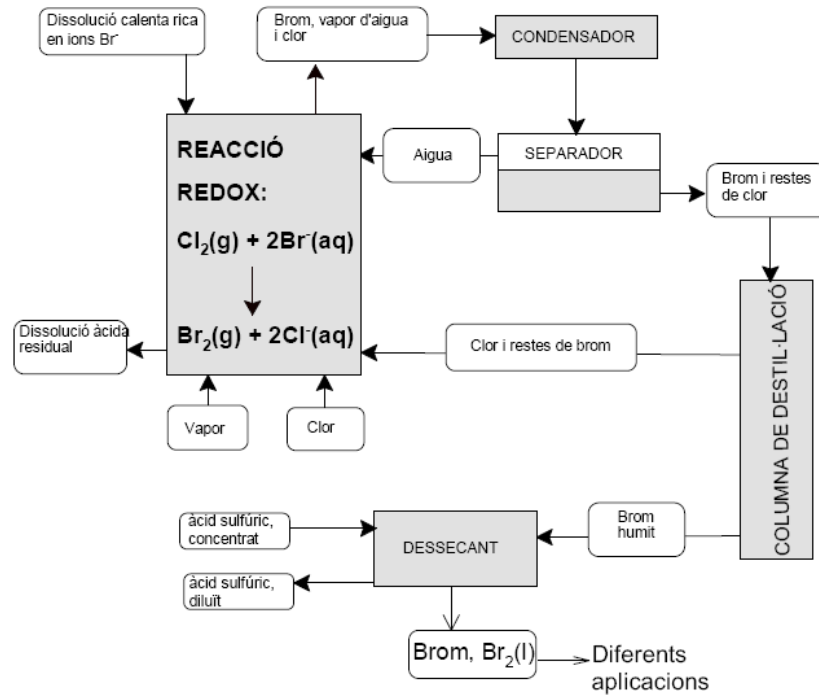


Figura 21: Diagrama de flujo para obtención de bromo

Se trata de otra reacción de oxidación-reducción que parte del agua de mar rica en bromuro a la cual se añade cloro gas. La figura 22 muestra una industria de obtención de bromo junto al Mar Muerto en Israel.



Figura 22: Industria de obtención de bromo en Israel