

Tratamiento de agua por ósmosis inversa.

Fuente: Cornell Cooperative Extensión, New York State College of Human Ecology.
Diciembre, 1995.

Introducción

Los equipos de ósmosis inversa (OI) pueden mejorar la calidad del agua, se han usado en forma extensiva para convertir el agua salina en agua de consumo, para tratar agua de desecho y para recuperar las sales disueltas en agua en procesos industriales. Cada día, estos sistemas de purificación son más populares en el mercado por la creciente preocupación de las personas por los contaminantes del agua que afectan su salud y aquellos químicos que no son riesgosos para la salud pero que le dan olor, sabor o color al agua que beben. Las personas que están considerando en instalar un sistema de purificación de agua en su hogar, deben primero hacer pruebas del agua para determinar cuales son los contaminantes de su agua.

Reduciendo contaminantes mediante ósmosis inversa

El tratamiento por OI reduce la concentración de **sólidos totales disueltos**¹, incluyendo una variedad de **iones**², metales y partículas muy chicas en suspensión como los **asbestos**³. La OI también remueve contaminantes orgánicos, algunos detergentes y pesticidas específicos.

La OI es un método efectivo para reducir la concentración de sólidos totales disueltos y muchas impurezas del agua. En la tabla I se listan algunos de los compuestos más comunes que son removidos por éstos equipos. Estos compuestos podrían o no estar presentes en el agua que llega a su hogar. La capacidad de retención de cada compuesto depende del tipo de membrana usada en el equipo y las condiciones de uso.

A pesar de que los sistemas de OI pueden remover todos los microorganismos del agua, es recomendado que sólo sean usados para tratar agua microbiológicamente apta (que no presente **bacterias coliformes**⁴). Algunos sistemas de OI pueden ser usados para eliminar los protozoos del agua (como Cryptosporidium y Giardia) y tienen el certificado de la organización internacional **NSF**⁵.

Los sistemas de ósmosis inversa no remueven todos los contaminantes del agua. Los gases disueltos como oxígeno y dióxido de carbono (que no son contaminantes) pueden atravesar la membrana de OI, pero desafortunadamente el sulfuro de hidrógeno (un gas que tiene un olor muy desagradable) también puede atravesar la membrana. La OI no es un método muy efectivo en reducir trihalometanos (THMs), algunos pesticidas, solventes y otros químicos orgánicos **volátiles**⁶.

Tabla I. Lista abreviada de compuestos químicos, partículas y microorganismos retenidos por purificadores de agua a base de OI.

Iones y metales	Compuestos orgánicos
Arsénico – Bario – Bicarbonato – Cadmio – Calcio - Carbonato – Cloruro – Cromo – Cobre – Fluoruro - Hierro – Plomo – Magnesio – Manganeso – Mercurio Nitrato – Potasio – Radio – Selenio – Sodio – Sulfato	Benzeno – Tetracloruro de carbono – Diclorobenzeno - Tolueno – Tricloroetileno
Partículas y microorganismos	Pesticidas
Asbestos – Cysts (protozoos) – bacterias - hongos	1,2,4- triclorobenzeno – 2,4-D – Atrazina – Endrin - Heptachlor – Lindane – Pentaclorofenol

El proceso de ósmosis

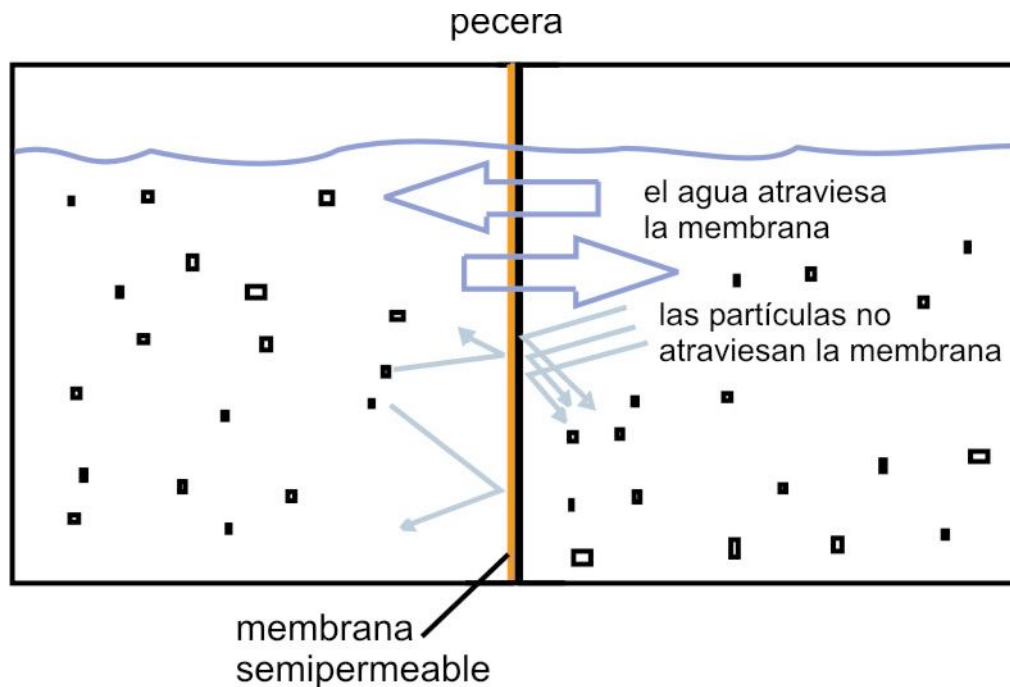
Para comprender como funcionan los equipos de OI primero es necesario entender el proceso de ósmosis. Este proceso ocurre en nuestras células, en las células de las plantas y de todos los organismos. A modo ilustrativo se representa en la figura 1 una pecera con agua, la cual está separada en dos partes por una lámina muy finita (**membrana**⁷), la cual tiene muchísimos poros de un tamaño extremadamente pequeño. Las **moléculas**⁸ de agua pueden pasar a través de los poros de la membrana, pero las partículas que se encuentren en el agua no son lo suficientemente chicas para hacerlo, entonces quedan atrapadas de un lado de la pecera y no pueden pasar al otro.

Nota:

Las membranas no sólo impiden el paso de partículas por el tamaño de sus poros, sino que tiene mucha importancia la naturaleza del material con que están hechas, por ejemplo las membranas de celulosa no permiten el paso de partículas cargadas negativamente porque son repelidas por la superficie de la membrana. El origen de esta repulsión se debe a fuerzas de atracción y repulsión que se generan entre las moléculas y partículas.

Una solución, es una mezcla **homogénea**⁹ de varios componentes, por ejemplo una solución podría ser agua con sal o agua con azúcar (otro ejemplo sería el agua de mar, ya que es una solución de agua y un varios tipos de sales). En el ejemplo de la figura 1, la solución (el líquido que llena la pecera) podría ser agua con sal; el cloruro de sodio (nombre químico de la sal común) estaría representado como las partículas que no atraviesan la membrana.

Figura 1. Una pecera con dos compartimientos que están separados por una membrana.



¿Que pasaría si ponemos de un lado de la pecera una solución **concentrada**¹⁰ (que tiene mucha sal) y del otro lado una solución bastante diluida (con poca sal)?

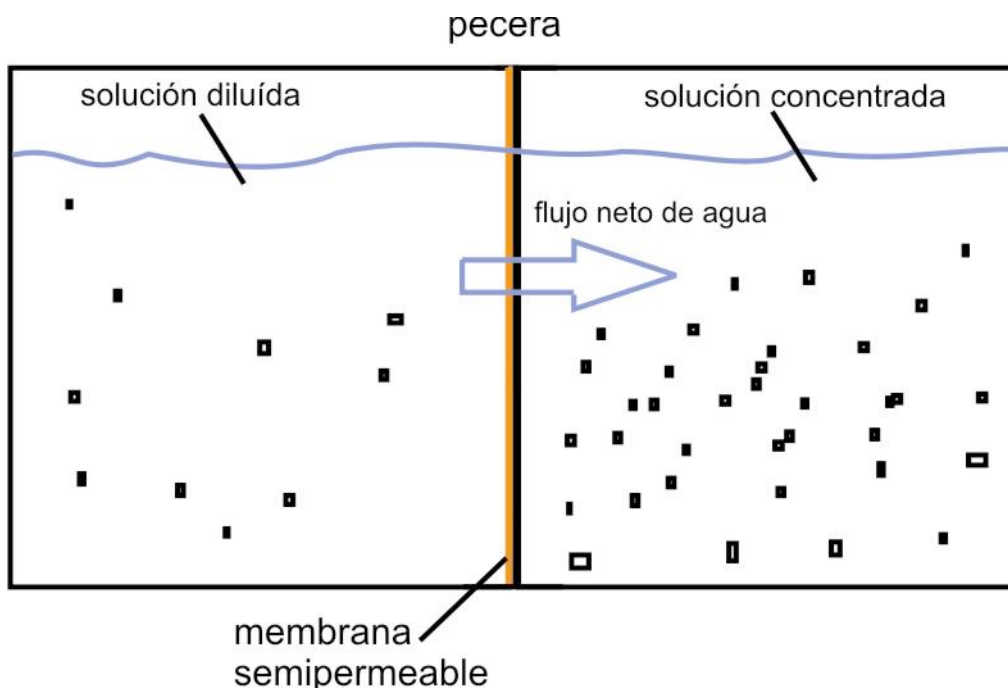
Antes tratar de responder esta pregunta, veamos el siguiente ejemplo que tal vez nos ayude:

¿Que pasa cuando le agregamos agua al jugo? En este caso el jugo sería una de las soluciones y el agua otra...al poner en contacto las dos soluciones... ¿Que observamos? Se forma una nueva solución (jugo más diluido) porque las dos soluciones originales se mezclaron. Esto lo podemos comprobar porque cuando tomamos el jugo tiene un sabor más suave y no pasa que hay “partes” del jugo que son concentradas y partes diluidas. Hay millones de ejemplos y todos nos dicen que existe una **“tendencia natural a que las soluciones en contacto tengan la misma concentración”**¹¹.

Ahora abordemos la pregunta que había quedado pendiente. ¿Que pasaba con las dos soluciones de distinta concentración?...bueno, este caso parece no ser tan simple, ya que las dos soluciones no se mezclan libremente, sino que hay una membrana de por medio....sabemos que la tendencia natural es que ambas soluciones tengan la misma concentración...¿Que podría permitir que esto ocurra? La respuesta no es muy compleja y probablemente Ud. ya la haya pensado. Como se esquematiza en la figura 2, el agua pasa de la solución diluida a la solución concentrada. De esta forma, al perder agua la solución de la izquierda (que originalmente era la más diluida), aumenta su

concentración porque posee la misma cantidad de partículas pero en un volumen menor de agua. La solución de la derecha (que era la más concentrada), al recibir agua disminuye su concentración porque tiene la misma cantidad de partículas pero en un volumen mayor de agua (recordemos que las partículas no pueden atravesar la membrana). De esta forma, se produce un flujo neto de agua debido a diferencia de concentraciones entre dos soluciones separadas por una membrana semipermeable y este proceso se llama **ósmosis**¹².

Figura 2. El proceso de ósmosis que se origina por la desigualdad en las concentraciones de las soluciones en contacto.

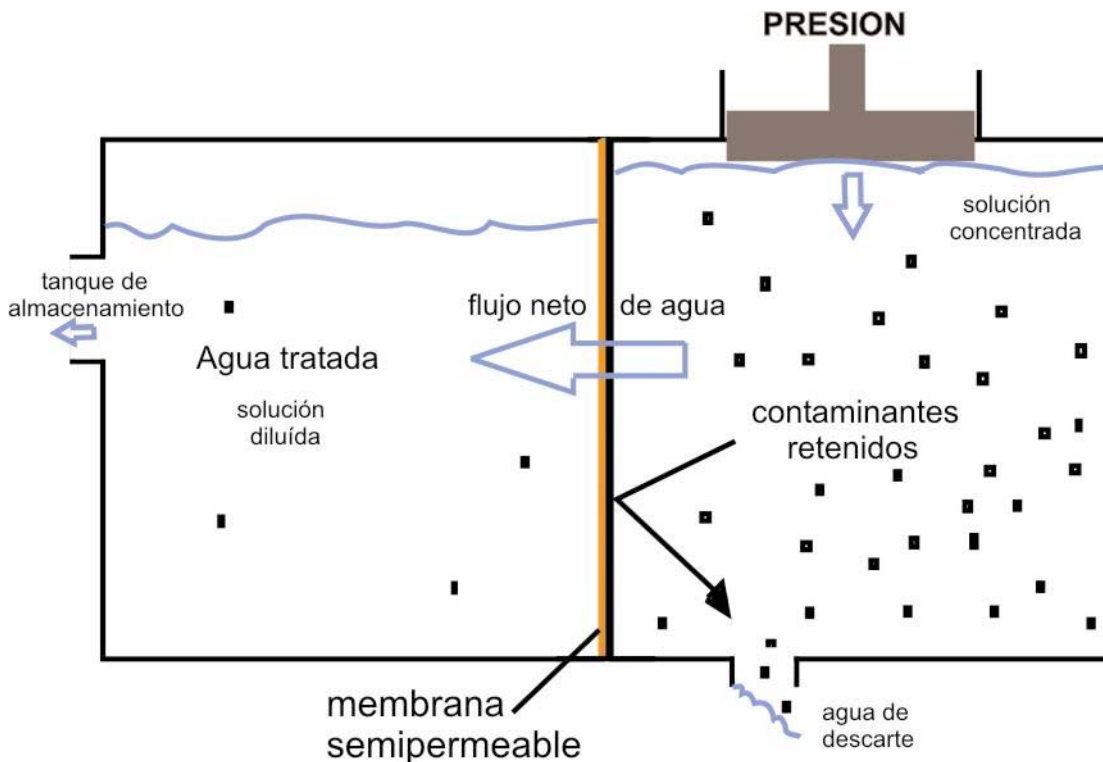


En el proceso de OI, se aplica una **presión**¹³ a la solución concentrada y de esta forma no sólo se impide que ocurra la ósmosis, sino que se invierte el proceso (de ahí el nombre). Con la suficiente presión, se obtiene agua pura que es como “exprimida” a través de la membrana desde el lado concentrado al lado diluído (al revés que en la ósmosis). Las sales disueltas en agua, que se **encuentran como iones**¹⁴, son repelidas por la membrana. El agua purificada se almacena en un tanque y las impurezas retenidas se descartan en un flujo de agua y no se acumulan como en los filtros tradicionales (Figura 3 y 4).

La membrana de OI, también permite que estos equipos realicen una “ultra-filtración”, impidiendo el paso de partículas de muy pequeño tamaño, incluyendo microorganismos que son físicamente muy grandes para pasar por los poros de la membrana. Las

membranas de OI pueden retener compuestos de 0,0001 a 0,1 **micrones**¹⁵ (millones de veces más chicos que la pestaña de una persona).

Figura 3. Proceso de ósmosis inversa.



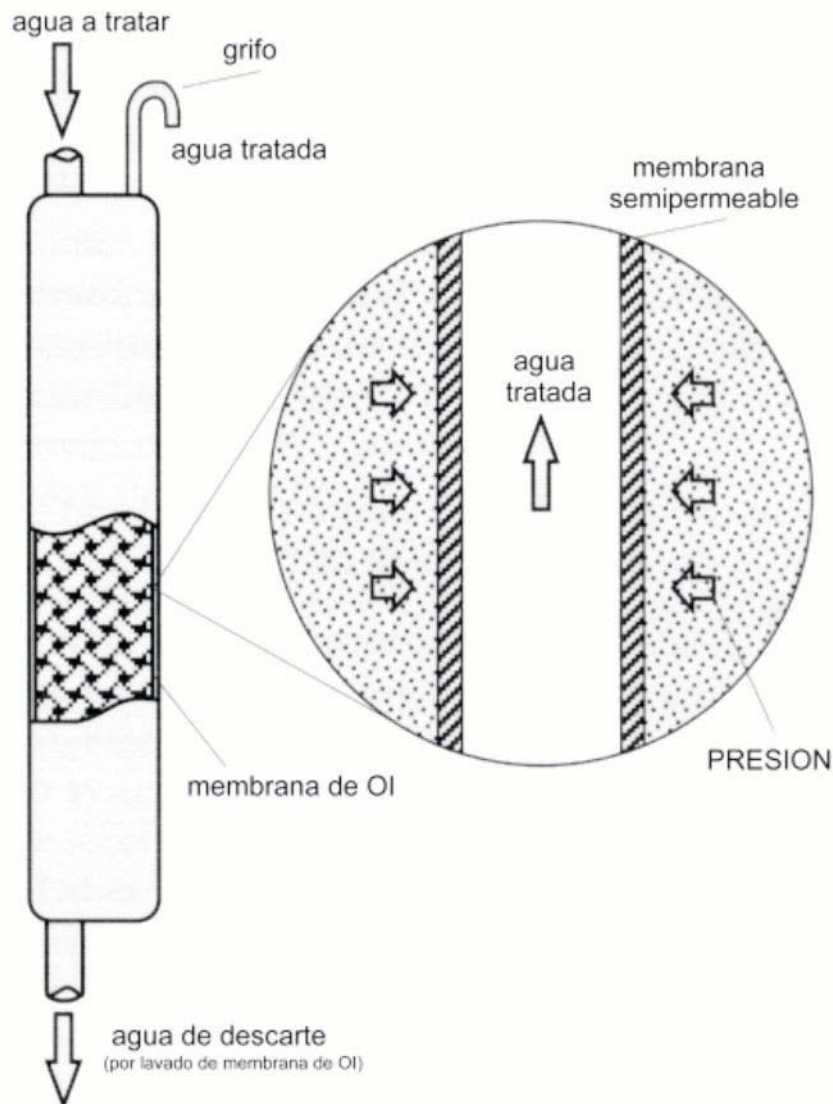
El diseño de equipos de OI

Aunque el proceso de OI es muy simple, un sistema de tratamiento de agua que utilice esta tecnología es complejo. La mayoría de estos equipos son instalados en el lugar de uso, lo más común es en la mesada de la cocina, de forma que el agua para cocinar y beber se obtenga de allí. Los sistemas de OI que tratan toda el agua que entra a las cañerías de la casa son muy costosos y de operación compleja.

Un equipo típico de OI (figura 5) consiste en filtros de “pre” y “post” tratamiento, el tanque de almacenamiento, el grifo que provee el agua tratada y obviamente de la membrana de OI. Muchas veces los equipos también cuentan con una bomba que permite generar una presión mayor de agua. Los pre-filtros de sedimentos son esenciales para remover las partículas de tamaño relativamente grande (como granos de arena) que podrían dañar o tapan la membrana de ósmosis o la bomba. Otros equipos usados en hogares que disponen **de agua excesivamente “dura”**¹⁶, cuentan con ablandadores de agua. Si el agua contiene cloro u otros químicos oxidantes como

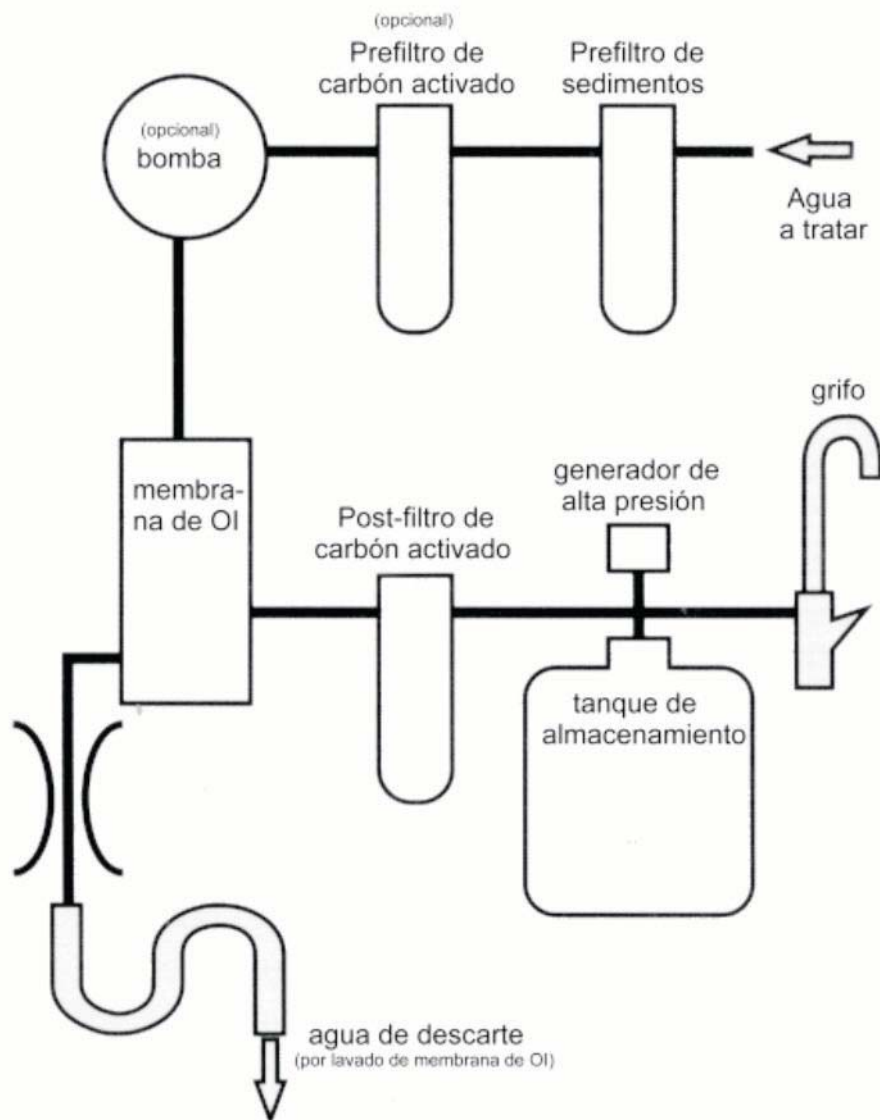
el bromo, es necesario un prefiltro de carbón activado para proteger la membrana de OI, la cual es sensible a éstos químicos.

Figura 4. Funcionamiento de un sistema de ósmosis inversa típico. En este esquema sólo figura la membrana de OI, no están representados los “pre” y “post” filtros, la bomba y el tanque de almacenamiento. Cuando el agua entra al dispositivo (una vez que pasó las etapas de pre-tratamiento), se encuentra entre las paredes del filtro y la membrana semipermeable (membrana de OI). Gracias a la presión que se ejerce sobre ella, se genera un flujo neto de agua hacia el interior de la membrana, que es donde se encuentra la solución diluida (en este caso sería el agua tratada, con un nivel bajo de sólidos disueltos). Los sólidos retenidos por la membrana, luego son descartados con el agua que lava la membrana (no se acumulan como en los filtros convencionales).



Para remover ciertos pesticidas y solventes orgánicos, se necesita un post-filtrado con carbón activado en el sistema, el cual además retiene compuestos que le dan olor y sabor desagradable al agua. Si se desea remover altos niveles de químicos orgánicos como trihalometanos, compuestos orgánicos volátiles, cloraminas, se necesita de un filtro de carbón activado de “contacto prolongado”, los cuales tienen como elemento filtrante carbón activado compactado (en vez de granulado); se trata de un “post” filtro, ya que se encuentra luego de la membrana de OI y antes del tanque de almacenamiento.

Figura 5. Componentes de un sistema de ósmosis inversa típico.



El tanque de almacenamiento, los tubos y el grifo deben ser de plástico, acero inoxidable u otros materiales no tóxicos. El bajo pH y contenido mineral del agua tratada puede llegar a corroer tubos de cobre o bronce (permitiendo la liberación de plomo en el agua).

El material de las membranas de OI.

Los materiales más comunes de membranas de OI son poliamida o celulosa; a su vez, existen varios tipos de celulosa: acetato de celulosa, triacetato de celulosa o combinaciones de ambos. Las membranas son muy finas y están hechas de fibras sintéticas de los materiales mencionados.

La capacidad de la membrana de OI está dada por cuanto volumen de agua puede tratar por día. Típicamente, las membranas que se usan en sistemas para hogares, pueden tratar de 40 a 130 litros por día; entonces, bajo condiciones estándar de operación, el llenado de un tanque de almacenamiento de 10 litros podría llevar de 2 a 6 horas. Las membranas hechas de acetato o triacetato de celulosa son comúnmente usadas en equipos para hogares y si se necesita de cantidades muy grandes de agua tratada se usan las membranas de poliamida.

Las membranas también tienen diferentes porcentajes de retención de elementos, los cuales se calculan para cada contaminante por separado o también se pueden calcular como porcentaje de retención de sólidos totales disueltos. Ambos tipos de membranas (poliamida y celulosa) tienen altos porcentajes de retención (por arriba del 90%). Las membranas de celulosa tienen precios más accesibles y toleran el cloro.

Glosario

1. **Sólidos totales disueltos (STD):** Este término es usado para referirse al conjunto de las sustancias que se encuentran disueltas en el agua, ya sean sales, contaminantes, etc. Hay pequeños dispositivos que se consiguen a precios accesibles, los cuales miden la cantidad de STD en partes por millón (ppm). Por ejemplo cuando un agua tiene 1060 ppm de STD, significa que por cada millón de moléculas totales de la muestra, 1060 son de sustancias disueltas en el agua.
2. **Iones:** Los iones por definición son átomos o un conjunto de átomos con carga eléctrica. Para tener un concepto de los iones, sin la necesidad de saber demasiado de química, los podemos imaginar como partículas muy pequeñas que se encuentran cargadas (ya sea positiva o negativamente). Todos sabemos que los polos opuestos se atraen y los polos iguales se repelen, bueno, con los iones pasa lo mismo. Si tienen signos iguales no van a acercarse demasiado entre sí, en cambio cuando tienen los signos opuestos se atraen y pueden formar un *enlace*, es decir que se “enganchan” formando un compuesto. Las sales están formadas por iones, por ejemplo la sal *cloruro de sodio* (sal común) está formada por iones *cloruro* (de carga negativa) y iones *sodio* (carga positiva). Entonces, cuando se habla de “sales” o “iones” en el agua, es prácticamente lo mismo, porque los iones provienen de las sales. El agua provoca que los iones que forman la sal se separen. Volviendo al ejemplo anterior, el cloruro de sodio en el salero es sólido y se encuentra en forma de cristales, en cambio, cuando está en el agua se separan los iones y tenemos por un lado iones cloruro y por el otro iones sodio (si nos fijamos en las etiquetas del agua mineral que se compra en los supermercados podemos ver que la misma tiene cloruros, fluoruros, calcio, sodio, etc... todos son iones los cuales provienen de las sales que se disolvieron. Por último cabe aclarar que no todas las sales se disuelven totalmente en agua como el cloruro de sodio liberando iones, hay muchas que en agua también se encuentran en forma de cristales.
3. **Asbestos:** Es el nombre genérico de un grupo de compuestos químicos llamados silicatos naturales, los cuales tienen numerosas aplicaciones en la construcción por ser ignífugos y químicamente inertes. Son contaminantes del agua y provienen de desechos de la industria minera. El consumo de agua contaminada con asbestos aumenta el riesgo de contraer cáncer en los intestinos.
4. **Bacterias coliformes:** También son conocidas como *colibacilos* porque viven en el intestino de los vertebrados; por ejemplo la especie *Escherichia coli*. En ese entorno viven simbióticamente (es decir que tanto el huésped como la bacteria se benefician de la asociación) ya que ayudan a la digestión del animal y el animal le brinda un microambiente favorable para su desarrollo, pero en algunas circunstancias pueden convertirse en patógenos (causantes de enfermedades), por ejemplo cuando se encuentran contaminando el agua de consumo.

-
5. *NSF*: Es la sigla de National Science Foundation, se trata de una organización originalmente americana, la cual promueve el avance de la ciencia, las condiciones de salud y bienestar.
 6. *Volátiles*: Son aquellas sustancias que pasan fácilmente de estado líquido a gaseoso (también puede haber sólidos volátiles).
 7. *Membrana*: Se trata de un término usado en con significados bastante parecidos. Por ejemplo, en los filtros, la membrana es una lámina muy fina de un material sintético y con poros muy pequeños. En biología, es de lo más común hablar de las membranas celulares, es decir la cubierta externa de las células.
 8. *Molécula*: Son agrupaciones de átomos unidos muy fuertemente. Por ejemplo, una molécula de agua está formada por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, es la parte más chica en que se puede separar fraccionar el agua...ya que si rompemos los enlaces entre esos átomos, ya no estaríamos hablando de agua sino de átomos de oxígeno e hidrógeno.
 9. *Homogénea*: Cuando se habla de una mezcla homogénea en química, se tiene en cuenta que dicha mezcla tenga las mismas propiedades o características en todas sus partes. Por ejemplo el agua y el aceite no forman una solución porque no son una mezcla homogénea, en cambio si lo hacen el agua y el alcohol.
 10. *Concentración*: Es la cantidad de la sustancia X que hay en un determinado volumen de otra sustancia Y. Por ejemplo: Si hablamos de concentración de sal en agua, vamos a indicar la cantidad de sal (sustancia X) que hay en un determinado volumen de agua (sustancia Y). Hay muchísimas formas de expresar concentraciones, por ejemplo: “gramos de sal en un litro de agua, microgramos de sal en mililitros de agua”, la forma utilizada depende de que cuales son las sustancias en cuestión. Otra forma de expresar concentraciones muy utilizada cuando se habla de líquidos o también de gases, es “partes por millón”, que indica cuantas partículas X hay por cada millón de partículas totales de la mezcla. Por ejemplo: Si leemos el Manual de Operación del equipo PROWATER 2000 vamos a ver que dice que: “No deber ser usado para el tratamiento de aguas con más de 2000 ppm”, esto quiere decir que el agua para ser tratada debe cumplir con el requisito de no tener más de 2000 partículas disueltas por cada millón de moléculas totales (agua más partículas disueltas).
 11. *“Tendencia a llegar a la misma concentración”*: Una explicación más completa y fundamentada de porque ocurre el flujo de agua desde la solución diluida a la concentrada involucraría conceptos de termodinámica. Esta es una rama de la química que se ocupa de las transiciones de energía y de la espontaneidad de los procesos.

12. *Osmosis*: Una definición más completa de ósmosis también tiene en cuenta las presiones de las dos soluciones, y se incluirían otros conceptos de química, como el potencial químico y el potencial agua.
13. *Presión*: Es una fuerza aplicada a una superficie. Por ejemplo cuando escuchamos el pronóstico del tiempo, siempre hablan de X hectopascales de presión. Esta es la presión que el aire de la atmósfera realiza sobre la corteza terrestre y sobre nosotros. En el caso del proceso de OI la fuerza se realiza a la superficie del líquido.
14. *“las sales se encuentran como iones..”*: Las sales están formadas por iones unidos entre sí y cuando la sal se disuelve en agua, los iones se separan y se mueven libremente unos de otros (no todas las sales se disuelven en agua).
15. *Micrones (μ)*: Es una unidad de longitud; es la millonésima parte de un metro (un millón de veces más chico).
16. *Agua dura*: Las aguas duras son aquellas que tienen alta concentración de magnesio y calcio; estas sales son las que forman el sarro.