

B4 Obtenemos agua potable – Métodos para la depuración del agua

Los experimentos parciales propuestos a continuación se prestan para abordar de forma experimental un planteamiento básico de la Química, el de la separación de materiales, basándose en la depuración del agua, un tema de actualidad. Asimismo, los alumnos y alumnas pueden comprobar sus conocimientos en la materia en base a estos experimentos. En la asignatura de Biología los experimentos sirven para abordar el tema del agua como recurso vital. Está claro que los experimentos se pueden utilizar de forma multidisciplinar, p. ej., en el marco de un proyecto medioambiental. Los materiales y aparatos suministrados alcanzan para ocho grupos de alumnos que realicen el experimento a la vez.

1 Pregunta central

Para muchas personas no es evidente el disponer de agua potable fresca y limpia cada día. La escasez de agua potable es uno de los principales problemas sociales del siglo XXI. En todo el mundo, casi mil millones de personas no tienen acceso a agua potable limpia. ¿Cómo es posible que un planeta cuya superficie está cubierta en 2/3 partes por agua no cuente con suficiente agua potable como para abastecer a sus habitantes? Esto se debe entre otros factores a la creciente población mundial, la escasez de agua causada en algunas regiones por el clima, así como la tala de los bosques que almacenan agua. La razón principal, sin embargo, reside en muchas partes en la contaminación de las reservas hídricas naturales (ríos, lagos y aguas freáticas) causada por los hogares, la industria y la agricultura. Se pretende sensibilizar a los alumnos y alumnas respecto a que con frecuencia ni siquiera se puede utilizar las aguas freáticas para obtener agua potable si no se ha sometido antes a un tratamiento especial. “¿Cómo se puede obtener agua potable a partir de agua contaminada?” es un tema próximo a la vida cotidiana, con el que se busca que los alumnos y alumnas entiendan los principios fundamentales de la depuración del agua en nuestros tiempos y lo que cuesta realizarlo desde un punto de vista técnico.

2 Integrar el experimento en el contexto educativo

2.1 Base científica

Sería de desear que los alumnos y alumnas tengan los siguientes conocimientos previos, aunque no es indispensable (basta con las experiencias de su vida cotidiana):

- el agua como disolvente
- el agua como “recurso vital” para el ser humano, la flora y la fauna
- la protección de las aguas (→ las aguas como espacio vital)

2.2 Relevancia en el plan de estudios

Grupo de edad de 12 – 15 años

En la asignatura de Química, el tema de la separación de materiales y la aplicación de métodos de separación físicos (→ colar, sedimentar, decantar, filtrar) en la separación de compuestos (de sólidos y líquidos) es un capítulo básico indispensable en todos los planes de estudios. A ello se le añaden temas como la solubilidad de los materiales, la solución y la suspensión, la emulsión, la ósmosis, las reacciones químicas de precipitación y las plantas depuradoras, el lugar donde se realiza la depuración del agua.

En Biología, el tema central es el agua como recurso vital (→ transporte del metabolismo) y los temas afines como la estructura celular (→ membrana) y la ósmosis. Otros temas de Biología en el capítulo medioambiental son la eliminación biológica de sustancias tóxicas así como la protección de las aguas y del agua potable.

Más tangencial es la coincidencia con la asignatura de Física: Aquí se trata de temas como el funcionamiento de los filtros (→ el tamaño de las partículas – tamaño de los poros) y la presión como magnitud relativa al estado de gases y líquidos.

Temas y terminología: El agua residual, decantar, la densidad, la presión, el colorante, los materiales sólidos, filtrar, los líquidos, el sabor y el olor, la protección de las aguas, la solución iónica, la planta depuradora, el espacio vital, el agua como recurso vital, la solución, el disolvente, el tamaño de los poros, los procesos de limpieza, las partículas en suspensión, sedimentar, colar, los compuestos, la separación de materiales, el metabolismo, la suspensión, los métodos de separación, el agua potable, la protección del agua potable, la fuerza de Van der Waal, el tratamiento del agua, la contaminación del agua, fuerzas interactivas (moleculares y atómicas)

2.3 Conocimientos a adquirir

Los alumnos y alumnas ...

- entienden a partir de sus propias experiencias prácticas (p. ej., al hervir el café: el sabor y el color se extraen, el “poso” del café se conserva) que los procedimientos de separación desempeñan un papel importante en la vida cotidiana.
- saben que el agua es fundamental en los métodos de separación.
- hacen suyo el concepto de que el uso del agua potable, de la manera que sea, siempre genera agua residual.
- entienden que en la vida cotidiana no se da en cambio el proceso contrario, es decir, obtener agua potable a partir de agua contaminada.
- toman conciencia del medio ambiente.
- hacen del uso responsable del agua, un “recurso indispensable para la vida”, uno de los pilares de su actuación y reflexión social.

2.4 El experimento en el contexto explicativo

En estos experimentos se explican paso a paso los procesos mecánicos de la depuración del agua contaminada con métodos cada vez más sofisticados como los utilizados en la práctica.

2.4.1 Experimento parcial 1: La depuración gruesa del agua contaminada mediante arena de cuarzo, carbón activado y papel de filtro

El experimento parcial 1 comienza por la depuración gruesa de una mezcla de arcilla, tinta y sal de mesa usando arena de cuarzo y papel de filtro. En este sentido, la arena hace las veces de colador fino, ante todo, debido al tamaño de los poros. Mientras que el tamaño de los poros del “papel de filtro” es superior a 10 μm , el filtro de arena retira partículas y materiales en suspensión de un tamaño superior a 0,1 μm . Porque junto al tamaño de los poros de aprox. 100 μm , en el filtro de arena hay fuerzas de adhesión (las fuerzas interactivas a nivel atómico y molecular, véanse las fuerzas de Van der Waal. La calidad del filtro en el experimento depende del grosor de la capa y de la calidad de la arena de cuarzo introducida en el embudo y/o de la bolsa de filtro. Puede observarse que la mayoría de las partículas en suspensión son filtradas, pero no las partículas colorantes de la tinta.

Para poder retirar material molecular como la tinta hay que añadir carbón activado al material de filtro. El carbón activado actúa casi exclusivamente en base a la absorción y elimina colorantes, sabores y olores así como bacterias. Debido a la gran cantidad y al tamaño increíblemente pequeño de los poros (de 1 a 50 nm), la superficie de éstos se adiciona hasta llegar a ser 10 mil veces mayor en comparación con el carbón masivo.

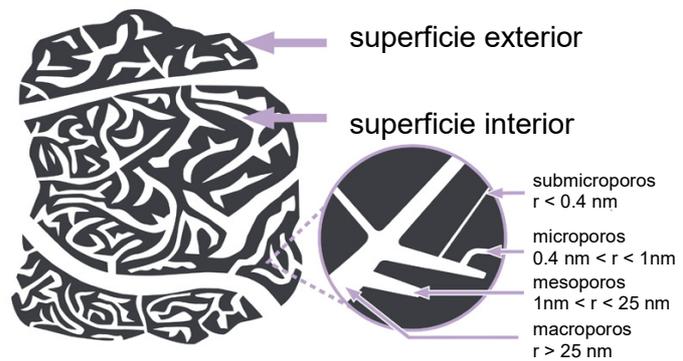


Fig. 1: Superficie (esquemática) del carbón activado.

Un gramo de carbón activado tiene por tanto una superficie interior de hasta 1.000 m², es decir, aproximadamente equivale a una séptima parte de un campo de fútbol. Con el ensayo siguiente sobre la conductividad se pretende mostrar que junto a los procesos de depuración mecánica con frecuencia hay en el agua sustancias químicas disueltas (aquí, iones salinos), que resultan muy complicados de separar.

Visión general de un filtro de membranas

Procedimiento	Microfiltración (MF)	Ultrafiltración (UF)	Nanofiltración (NF)	Ósmosis inversa (OI)
Material de filtro	Material orgánico o cerámica	Poliamidas, polisulfatos, acetatos de celulosa, PVdF (polifluoruro de vinilideno)	Capas de polímeros homogéneas	Capas de polímeros homogéneas
Tamaño de los poros	En micrómetros 0,05 – 10 µm	Una centésima parte de micrómetros 0,005 – 0,15 µm	En nanómetros 0,7 – 10 nm	< 1 nm «sin poros»
Materiales separables	Plancton, algas, enturbiamientos, bacterias, partículas en suspensión, fibras, eventualmente proteínas y microorganismos mayores (amibas)	Macromoléculas, virus, coloides, bacterias	Compuestos orgánicos, iones (de dos valores), colorantes, pesticidas así como herbicidas	Moléculas e iones, sales alcalinas y alcalinotérreas, pero también iones de metales pesados y alcoholes así como azúcar
Diferencia de presión requerida	0,1 – 2 bares	0,1 – 5 bares	3 – 20 bares	10 – 100 bares
Ejemplo	Tratamiento posterior de agua depurada	Tratamiento de agua potable (p.ej., SkyHidrant)	Tratamiento de agua pura, ablandamiento de aguas	Tratamiento de aguas muy purificadas, desalinización de agua de mar

Fig. 2: Visión general de un filtro de membranas

En comparación con los valores recogidos en la tabla, el filtro redondo de papel utilizado por nosotros tiene un tamaño de poros superior a $10\ \mu\text{m}$, el cartucho de filtro de membrana de $0,2\ \mu\text{m}$ y el filtro de membrana de fibra hueca de $0,02\ \mu\text{m}$. El tamaño de las partículas de colorante azules de la tinta está evidentemente en parte por encima y en parte por debajo de $0,2\ \mu\text{m}$, una parte incluso por debajo de $0,02\ \mu\text{m}$. Por este motivo, el contenido de colorante del agua se puede reducir considerablemente con nuestro cartucho de filtro y con el filtro de membrana, pero no se puede eliminar por completo, sin que queden restos.

2.4.2 Experimento parcial 2: La depuración fina del agua mediante un filtro de membrana

La tinta se compone de un compuesto de colorantes con tamaños moleculares diferentes, de forma que si bien el filtro de membrana elimina una parte del color, no logra quitarlo del todo. Por motivos de claridad didáctica, renunciamos a la tinta y trabajamos sólo con arcilla suspendida en una solución salina. El experimento es en principio muy sencillo y si se trabaja minuciosamente (!) siempre sale bien. Hay que tener en cuenta que se usan millones de estos filtros de membrana en el sector bioquímico, médico y farmacéutico. El procedimiento que se propone en las instrucciones para los alumnos, si bien da la impresión de ser un poco complicado, es indispensable para evitar que se formen burbujas de aire en el filtro de membrana. Porque si hay aire sobre la membrana húmeda, debido a la compresibilidad del aire no se podrá volver a liberar la membrana, aún cuando se presione en la punta. El filtro no va a surtir efecto y, por tanto, ya no servirá de nada. Si se trabaja correctamente se constatará el enorme efecto de filtración y se obtendrá una solución clara. La utilización de filtros de membrana permite realizar la microfiltración, el tamaño de las partículas es aquí de $> 0,1\ \mu\text{m}$.

2.4.3 Experimento parcial 3: La depuración fina del agua mediante un filtro de membrana de fibra hueca

Mediante la ultrafiltración y la nanofiltración con tamaños de poros de hasta $1\ \text{nm}$ se pueden filtrar partículas como bacterias, moléculas de colorante, iones metálicos y virus. Para este tipo de filtración se suelen utilizar las membranas de fibra hueca. Sin embargo, las membranas de finos poros necesarias para, p. ej., la desalinización del agua de mar, requieren altas presiones (de $80\ \text{bares}$ y más). Para nuestro experimento sólo podemos utilizar por ello una membrana de fibra hueca de poros relativamente grandes.

Al aplicar el procedimiento de la nanofiltración en soluciones salinas (iónicas) hablamos de ósmosis inversa. En este procedimiento se presiona el agua salada contra una membrana semipermeable de poro fino. El tamaño de los poros permite que las moléculas de agua de aprox. $0,28\ \text{nm}$ pasen pero que los iones salinos sean retenidos. (Si bien los iones salinos son más pequeños que las moléculas de agua, debido a la capa de hidrato fija son al final mucho mayores). A diferencia de nuestro ensayo, en el que ejercemos presión sobre un tubo de membrana de fibra hueca cerrado, las plantas modernas de desalinización trabajan en un flujo abierto. La presión es lo suficientemente alta debido al pequeño diámetro y a la longitud de las fibras como para hacer que las moléculas de agua sean presionadas por los poros.

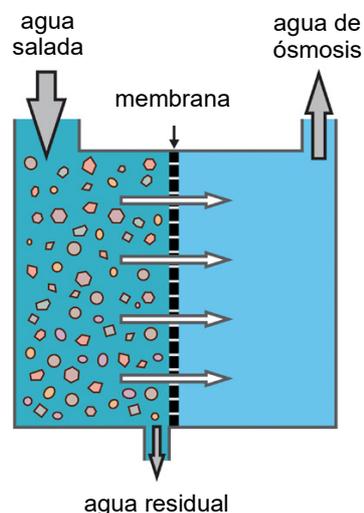


Fig. 3: Esquema de la ósmosis inversa.

La ventaja: La membrana es limpiada permanentemente por la corriente de agua. En todo el mundo este procedimiento se aplica en las grandes plantas desalinizadoras en muchas zonas donde escasea el agua potable.

2.5 Variantes de ejecución

- Los alumnos y alumnas pueden trabajar en todos los experimentos de a dos.
- Ambos experimentos pueden ser realizados en paralelo o en dos o más grupos, de forma que los equipos individuales puedan aprovechar la hora restante de la clase para comunicar, comparar y someter a debate con los demás grupos los conocimientos especializados obtenidos en virtud de los experimentos.
- Todos los experimentos pueden ser realizados con cada uno de los grupos de edad mencionados, el profesor o la profesora puede hacer una diferenciación al evaluar la cuestión a investigar en mayor o menor profundidad.

3 Informaciones adicionales sobre el experimento

Para preparar y/o profundizar este experimento encontrará información complementaria en el Portal de Medios de la Siemens Stiftung:

<https://medienportal.siemens-stiftung.org>

El paquete de medios didácticos denominado “La ayuda humanitaria – la aplicación de filtros de agua potable” está consagrado exclusivamente a los temas principales de este experimento.

4 Observaciones sobre la realización del experimento

4.1 Lugar en el que se realiza el experimento

No se requiere un lugar especial para realizar los experimentos.

4.2 Tiempo necesario

	Preparación	Realización	Evaluación	Debate
Experimento parcial 1	5 min.	10 min.	10 – 20 min. según el grado de detalle	10 min.
Experimento parcial 2	10 min.	20 min.	10 – 20 min. según el grado de detalle	10 min.
Experimento parcial 3	5 min.	20 min.	10 – 20 min. según el grado de detalle	10 min.

4.3 Advertencias de seguridad

Los experimentos sólo pueden ser realizados bajo la vigilancia del profesor o de la profesora. Hay que advertir a los alumnos y alumnas que los materiales suministrados sólo se deben utilizar siguiendo las instrucciones correspondientes.

En estos experimentos tenga en cuenta los siguientes peligros e llame la atención de los alumnos y alumnas a este respecto:

- Hay que procurar que no haya un cortocircuito con la pila. ¡Hay peligro de explosión y de incendio!
- Procure que no haya daños en los materiales y aparatos a causa del agua.

4.4 Aparatos y materiales

A adquirir o preparar previamente:

agua (aprox. 3 litros)

Incluido en el suministro:

Los aparatos y materiales entregados son suficientes para que **ocho** grupos de alumnos realicen el experimento en paralelo. Solamente hay una membrana de fibra hueca y tienen que ir pasándola entre los grupos.

El cableado y la utilización correctos de los LED es algo que debería aclarar el profesor de antemano en función de los conocimientos de los alumnos y alumnas, si hace falta haciendo una demostración.

Para **un** grupo de alumnos se requieren los siguientes materiales de la caja:

material	cantidad
arcilla (“bentonita”)	1x para toda la clase
arena de cuarzo (“arena para filtrar”)	1x para toda la clase
cable conector de cocodrilo	6x
carbón activado, paquete	1x para toda la clase
cartucho de filtro (filtro de membrana) con tapa Luer Lock	1x
clavo (de acero, “hierro”), como electrodo	2x
cuchara de café	1x
embudo	1x
inyección Luer Lock, 10 ml	1x
inyección Luer Lock, 50 ml	1x
LED rojo (caja roja), 5 V	1x
llave de paso unidireccional (que encaje en una manguera de 7mm/4mm y tapa Luer Lock)	1x
membrana de fibra hueca con tapa Luer Lock	1x para toda la clase
papel de filtro (redondo), 12,5 cm	1x
pila, 9 V	1x
sal de mesa, caja	1x para toda la clase
tapa enroscable (para vaso de 100 ml)	4x
tinta, azul (“Aquatint”)	1x para toda la clase
vaso de plástico (transparente), 500 ml	2x
vaso de plástico, 100 ml	4x



Fig. 4: Aparatos y materiales incluidos en el suministro para un grupo de alumnos.

4.5 Poner orden, eliminar residuos, reciclar

Todos los aparatos y casi todos los materiales suministrados en la caja se pueden reutilizar. Por ello debería asegurarse de que al concluir cada experimento coloquen todo nuevamente en la caja correspondiente. Así estará seguro de que Ud. y sus compañeros de trabajo encuentren todo rápidamente cuando lo quieran volver a utilizar.

Los aparatos que se hayan ensuciado al realizar los experimentos, como, p. ej., vasos, recipientes, cucharas, tubos de ensayo, deberían ser limpiados antes de colocarlos en las cajas. Lo más fácil es que los alumnos y alumnas se ocupen de hacerlo al finalizar el experimento.

Además, asegúrese de que los aparatos estén listos para ser utilizados en la próxima ocasión. Por ejemplo, hay que poner a cargar las pilas usadas (También es recomendable cuando no se han usado las pilas desde hace tiempo.).

Los materiales no reciclables como, p. ej., los palitos de medición del valor pH o el papel de filtro, deben ser tirados a la basura correcta.

Los residuos resultantes de este experimento se pueden tirar a la basura normal o por el desagüe.