

# Nanofiltración



Center for Nanotechnology Education

Versión 041019



Este material está basado en trabajo apoyado por la Fundación Nacional de Ciencia bajo la Concesión Número 0802323 y 1204918. **Cualquier opinión, hallazgos, conclusiones o recomendaciones expresadas en este material son las del autor(es) y no necesariamente representan las opiniones de la Fundación Nacional de Ciencias.**



Este trabajo está licenciado por [“Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License”](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/).

Basado en un trabajo en [www.nano-link.org](http://www.nano-link.org).

# Nanofiltración

## Abstracto

El suministro de agua contaminada se ha convertido en un problema local en las comunidades de los Estados Unidos y el mundo. Aunque las situaciones dramáticas en Flint, Michigan y Nueva Orleans después del huracán Katrina ocuparon los titulares noticiosos, los vecindarios y las comunidades de todo el país se enfrentan a problemas de calidad del agua en sus aguas subterráneas, piscinas, lagos, arroyos comunitarios y rurales día a día. Los filtros de agua a microescala y nano escala son la clave para eliminar hasta los patógenos más pequeños presentes en el agua. En este módulo, se utilizará un modelo para ilustrar las relaciones e interacciones entre el agua limpia, los micro y nano contaminantes encontrados en fuentes de agua locales y los mecanismos mecánicos de tratamiento de agua. Luego, se evaluarán los diseños que compiten en la búsqueda de soluciones para producir agua potable. La evaluación será basada en evidencia empírica y / o argumentos lógicos con respecto a las limitaciones encontradas, incluyendo el costo y la seguridad, a la vez que se consideran los impactos sociales y ambientales.

## Resultados

- Distinguir entre los diferentes tamaños de los objetos a micro y nano escala y cómo el mismo influye en el diseño de la tecnología.
- Comparar diferentes modelos identificando los beneficios, riesgos y limitaciones de cada uno.

## Prerrequisitos

- Células (biológicas)
- Calidad del agua y lo que la degrada
- Tamaño y escala del objeto que se puede encontrar en el agua

## Correlación

### *Conceptos Científicos*

- Los seres vivos están formados por una o más células.
- Los recursos naturales guían el desarrollo de la sociedad humana.
- La sustentabilidad de la sociedad humana depende del manejo responsable de los recursos naturales.
- Los modelos macroscópicos nos ayudan a investigar y comprender cómo funcionaría un diseño a escalas más pequeñas, es decir, las micro y nano escalas.

### *Conceptos de Nanociencia*

- Naturaleza y estructura de la materia: estructura atómica y molecular
- Sentido de escala
- Impactos sociales

## Información de trasfondo

### *El agua en contexto*

Probablemente, hoy, ya hayas utilizado el agua en diferentes actividades de la vida cotidiana: como ducharse, beber agua del grifo y descargar el inodoro. Sin embargo, muchas personas en el mundo no pueden hacer lo mismo. A diferencia del resto del mundo, donde la falta de agua está vinculada a la pobreza y es una de las principales causas de muerte por enfermedades transmitidas por el agua, Estados Unidos disfruta de una considerable afluencia de agua. Como regla general, nuestras preocupaciones sobre la calidad del agua se limitan a brotes episódicos de enfermedades transmitidas por el agua causadas por patógenos en aguas no tratadas. Por ejemplo, los Centros para el Control de Enfermedades informan que en 2009-2010 hubo 33 brotes asociados con el agua potable que resultaron en 1,040 casos de enfermedad, 85 hospitalizaciones y 9 muertes.

Los brotes episódicos de enfermedades transmitidas por el agua en los EE.UU. han ocurrido durante desastres naturales, como el huracán Katrina en 2005 o la tormenta tropical Sandy en 2012 y cuando la infraestructura local está contaminada o ha fallado, como el brote de *Cryptosporidium* de 1993 en Milwaukee, WI, que resultó en 400,000 casos de enfermedad y hasta 100 muertes. Cuando ocurren estos eventos, usualmente se le solicita a la ciudadanía que hierva el agua como una posible forma de tratarla para prevenir los patógenos transmitidos por el agua. Esto funciona para la mayoría de los microorganismos dañinos que causan enfermedades, como las bacterias, pero no funciona igual para todos.

La población de los Estados Unidos aumentó aproximadamente 2 millones de personas entre el 2012 y 2013 y actualmente continúa aumentando. Por lo tanto, la demanda de agua limpia también seguirá en aumento. Con el tiempo esto será más problemático, ya que se está utilizando el agua subterránea de los acuíferos disponibles más rápido de lo que se está reponiendo. Entonces, ¿cómo podemos utilizar la tecnología para garantizar que muchas personas en los EE.UU. puedan continuar haciendo uso del agua desinfectada en las diferentes actividades de su vida cotidiana (como ducharse, beber agua del grifo y descargar el inodoro) y así no tener que hacer lo que tantas personas en muchos países hacen al utilizar el agua no tratada para estas funciones?

### *Procedimiento típico para el tratamiento del agua*

El tratamiento típico del agua en los EE. UU. envuelve una serie de pasos para eliminar objetos no deseados como palos, sabores provenientes de las algas, patógenos transmitidos por el agua como la hepatitis A y productos químicos como el plomo. La Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) enumera los siguientes pasos básicos para el tratamiento del agua:

1. Coagulación: adición de productos químicos para atraer el sucio en preparación para la sedimentación.
2. Sedimentación: las partículas coaguladas que componen el sucio se precipitan en el agua.
3. Filtración: se utilizan filtros mecánicos para eliminar partículas pequeñas.
4. Desinfección: típicamente, se agregan compuestos de cloro al agua para eliminar (matar) bacterias y microorganismos.

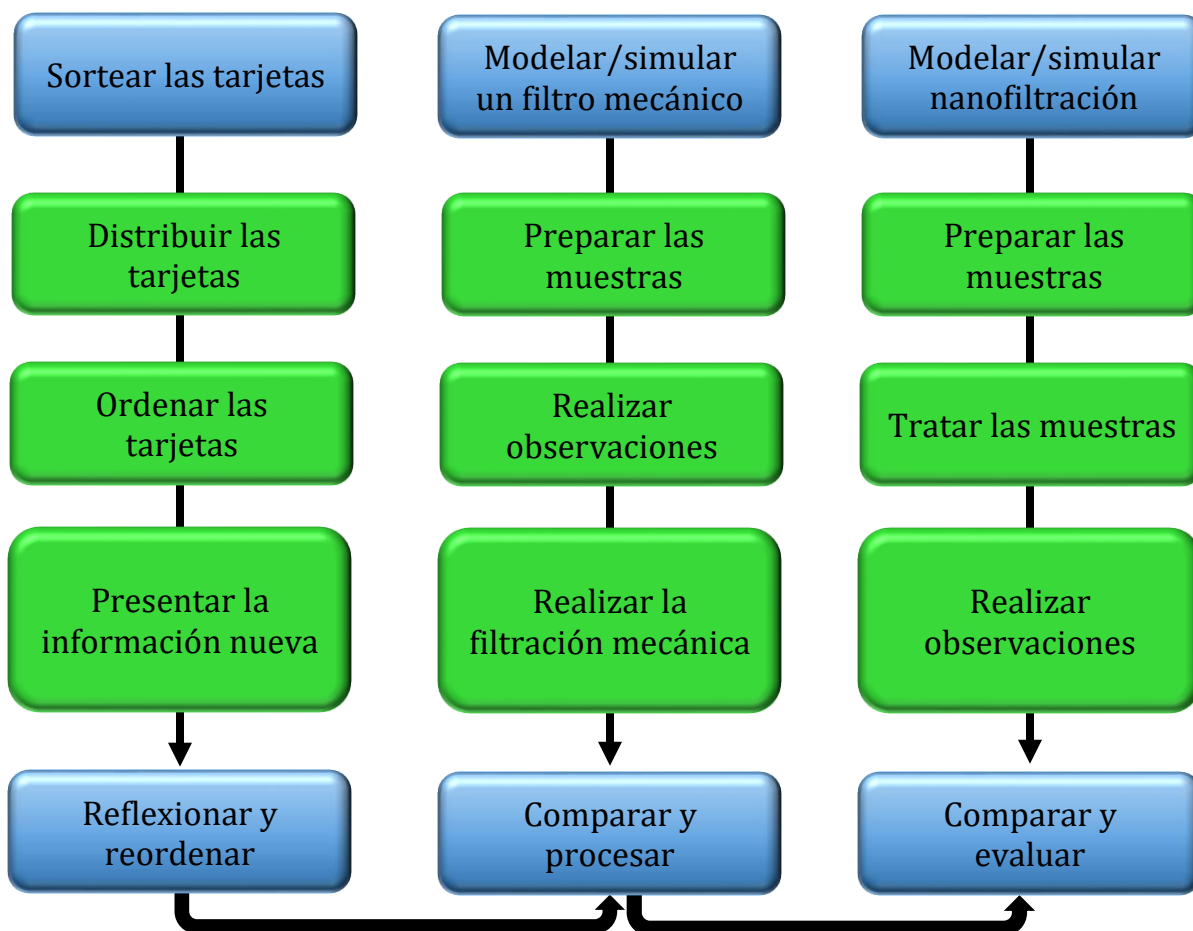
El cloro ha sido clave para desinfectar el agua potable. Elimina muchos patógenos nocivos; además, mantiene el sabor y la limpieza del agua mientras se almacena entre el procesamiento y el uso. Sin embargo, tiene algunas desventajas: como su afinidad para combinarse con materiales orgánicos y producir trihalometanos y ácidos halo-acéticos, que son carcinógenos en exposición a largo plazo. ¿Vale la pena el riesgo de exposición potencial por el uso del cloro?

### *Presencia de patógenos transmitidos por el agua*

Las enfermedades transmitidas por el agua son causadas por agentes patógenos que se encuentran en la materia fecal en el suministro de agua. Esto significa que el agua extraída de fuentes superficiales, como ríos y lagos, está frecuentemente contaminada. Para enfermarse por lo menos se necesitan entre 10 a 1,000 bacterias, pero con un virus, solo se necesita 1. Algunos virus, como el de la hepatitis A o el rotavirus, son difíciles de detectar utilizando métodos convencionales. Otros patógenos, como el *Cryptosporidium*, resisten el tratamiento químico y se eliminan solo por filtración. El tamaño de estos patógenos adquiere una importancia crítica al diseñar una forma de filtrarlos del agua potable.

## Actividad de aprendizaje: Nanofiltración

### Flujograma de la actividad



## Actividad de aprendizaje: Nanofiltración

### Materiales y equipo

- Para cada grupo (de tres a cuatro estudiantes), se necesita:

#### Actividad 1

- 1 juego de tarjetas de patógenos transmitidos por el agua
- Tabla de datos sobre agentes patógenos del agua

#### Actividad 2

- Materiales para construir un filtro, como gasa, carbón activado, hierba (grama), tierra, relleno para almohadas (guata de algodón), filtro de café, etc.
- Embudo de plástico
- Anillo de soporte
- Muestras de artículos que normalmente se lavan en el fregadero, como pasta de dientes, café molido, sucio de vegetales, champú, refrescos, etc.
- 3 vasos de precipitado (vasos de laboratorio)
- Agitadores (madera o vidrio)

#### Actividad 3

- Microscopio óptico (de luz)
- Laminillas (portaobjetos de montaje húmedo) y cubreobjetos
- Gotero
- Agua no tratada de lago, estanque o arroyo local.
- Agua del grifo
- Opcional: 1 kit de prueba de bacterias coliformes
- Para cada clase, se necesita:

- 1 "LifeStraw" →
- Tubo de goma (0.5 m de largo)
- 1 jeringa de 35cc



<https://www.rei.com/product/860034/lifestraw-water-filter>

### Tiempo de duración

- 50 minutos

### Seguridad

El agua no tratada o "cruda" **NO** se puede beber. Hay que lavarse bien las manos después de trabajar con este tipo de agua.

## Procedimiento

### **Actividad 1:**

Es fácil perder de perspectiva el tamaño de los objetos cuando son tan pequeños que no se pueden tocar. Esto es lo que ocurre con los objetos en el mundo a nano escala, el cual consiste de materiales que tienen un tamaño de entre 1 y 100 nm. No podemos estudiar estos materiales utilizando la luz, ya que las longitudes de onda de la luz visible (400-700 nm) son demasiado grandes y no son una herramienta útil para detectarlos. Gracias a los avances tecnológicos, como la invención del microscopio de fuerza atómica (AFM, por sus siglas en inglés) a principios de la década de 1980, se ha mejorado en gran medida la comprensión científica del mundo a nano escala. Participar en un ejercicio donde se organicen y ordenen diferentes materiales u objetos por tamaño (de mayor a menor) puede ayudar a desarrollar un sentido de escala, y a la misma vez, obliga a pensar en el mundo nano, el cual es tan pequeño que no se puede observar directamente.

En esta actividad se utilizan tarjetas que ilustran contaminantes comunes transmitidos por el agua. ¿Cuán pequeños son estos contaminantes? ¿Se pueden observar bajo el microscopio óptico? El objetivo es adquirir conocimiento sobre este mundo a pequeña escala.

1. Organiza y ordena las tarjetas con las ilustraciones de patógenos comunes en el agua utilizando el ancho observado – desde el más ancho hasta el más estrecho. Anota cómo los ordenaste.
  2. ¿Por qué los organizaste de esa manera? ¿Qué información utilizaste?
  3. Luego de observar la diapositiva de PowerPoint o la copia en papel con la tabla de datos sobre los patógenos presentes en el agua, realiza los cambios que entiendas pertinentes en la organización de las tarjetas, desde el más ancho hasta el más estrecho. Anota cómo los ordenaste. ¿Realizaste algún cambio? ¿Por qué?
- Nota: Utiliza esta información como referencia al completar las actividades 2 y 3.

## Actividad 2:

Los científicos utilizan modelos para representar el sistema que se está modelando, para así comprenderlo mejor, hacer predicciones y generar preguntas sobre el sistema que se está estudiando. Los modelos son de gran utilidad al estudiar objetos demasiado pequeños para estudiarse directamente, como los objetos a nano escala.

En esta actividad se utiliza gasa para modelar el proceso utilizado en los filtros nano mecánicos cuando procesan el agua.

1. Prepara el agua "sucia" combinando y mezclando, en el vaso de laboratorio 1, los elementos que comúnmente se descartan por el desagüe.
2. Realiza los siguientes pasos utilizando parte del agua (no toda):
  - a) Filtra (cuela / vierte / "strain") el agua a través de uno de los materiales provistos (vaso de laboratorio 2).
  - b) Filtra el agua a través de los distintos materiales provistos (vaso de laboratorio 3).
3. Anota y dibuja las observaciones que realizaste utilizando esta muestra de agua.
  - **Opcional:** Reserve el fluido en el vaso de laboratorio 3 para hacerle pruebas utilizando el filtro mecánico (Actividad 3).
  - **Advertencia** (peligro): *¡El agua utilizada en esta actividad o el agua que proviene de una fuente no segura (dudosa) no se debe de beber!*
4. ¿Por qué esta agua todavía no es "segura" para beber? ¿Qué evidencia (color, consistencia, claridad) apoya esta suposición? ¿Cómo se afectarían los pasos que se llevan a cabo para limpiar o "tratar" el agua en una facilidad de tratamiento de agua al presentar esa evidencia?
5. If the materials, like coffee grounds or toothpaste, represented harmful bacteria, describe how effective your filter would be at cleaning the water. Si los materiales, como el café molido o la pasta de dientes, representan bacterias dañinas, describe qué tan efectivo sería tu filtro para limpiar el agua.
6. Describe un sistema de limpieza que pueda eliminar todos los contaminantes presentes en el agua.



### Actividad 3:

La nanofiltración es un proceso de filtración a través de membranas que se puede utilizar en el agua con pocos desechos o escombros observables en ella. Los "agujeros" o poros por los que pasa el agua son de aproximadamente 10 nm. La ventaja de este tipo de filtro es que las membranas se pueden utilizar para filtrar mecánicamente los agentes patógenos sin la necesidad del tratamiento químico. Esto evita la posibilidad de exposición a largo plazo al cloro o los carcinógenos que éste produce al reaccionar con los solutos orgánicos presentes en el agua.

En esta actividad se utiliza un microfiltro mecánico (no un nano filtro) para limpiar o "tratar" el agua y modelar el proceso de nanofiltración.

1. Prepara un montaje húmedo (en una laminilla) con una muestra de cada tipo de agua.
2. Realiza una búsqueda de microorganismos utilizando el microscopio. Anota tus observaciones.
- **Advertencia** (peligro): *No se puede permitir que el agua utilizada en esta actividad permanezca por periodos prolongados ya que podría contener agentes patógenos.*
3. Prueba el microfiltro del "LifeStraw" u otro microfiltro que te proporcione el instructor. (Tendrás que compartir con tus compañeros de clase).
  - a) La empalmadora ("splicer") está unida al "LifeStraw" por una manga de goma. Conecta la empalmadora a la jeringa.
  - b) Coloca el "LifeStraw" en el agua y tira o hala el émbolo de la jeringa hasta la mitad.
  - c) Remueve el "LifeStraw" del agua.
  - d) Invierte el "LifeStraw" y termina de tirar o halar completamente el émbolo de la jeringa, teniendo cuidado de no sacarlo de la jeringa.
4. Realiza una búsqueda de microorganismos utilizando el microscopio. Anota tus observaciones.
5. Selecciona una muestra de agua "tratada" para detectar la presencia de bacterias coliformes. Sigue las instrucciones de la prueba para coliformes. *Nota:* Los resultados tardan entre 24 y 48 horas.
  - ¿Por qué seleccionaste esa muestra para detectar la presencia de bacterias coliformes?
  - ¿Cuáles fueron tus resultados?
6. ¿Por qué realizamos pruebas para detectar la presencia de bacterias coliformes?
7. ¿Qué tipos de contaminantes podrían no observarse en la muestra de agua bajo el microscopio?
8. ¿Qué pruebas realizarías para detectar la presencia de los contaminantes que no se observan bajo el microscopio?

## Preguntas de discusión

### 1. Los modelos de filtración

- a) Evalúa los diferentes modelos de filtración trabajados (es decir, gasa, “LifeStraw”, etc...).
- i) ¿Cuáles fueron las fortalezas de cada modelo?
- ii) ¿Cuáles fueron sus limitaciones?
- b) ¿Cómo diseñarías un filtro nuevo para mejorar la capacidad de eliminar todos los contaminantes?

### 2. Evalúa los métodos de tratamiento del agua.

- a) ¿Qué método de filtración escogerías para el tratamiento del agua después de un desastre en tu comunidad, como una inundación severa o un corte de energía prolongado? ¿Por qué?
- b) ¿Qué restricciones, como el costo, la seguridad, los impactos sociales o ambientales, determinarían tu selección?
- c) ¿Cuáles son los beneficios y riesgos de tu selección?
- d) ¿Qué métodos de tratamiento del agua recomendarías para tu ciudad o comunidad?
- e) ¿Qué limitaciones, como el costo, la seguridad, los impactos sociales o ambientales, determinarían tu selección?
- f) ¿Cuáles son los beneficios y riesgos de lo que escogiste para tu ciudad o comunidad?

## Usos presentes y aplicaciones futuras

La nanofiltración se utiliza comúnmente para purificar el agua potable mediante la eliminación de contaminantes a nano escala como metales pesados, pesticidas y nitratos. Puede ablandar el agua (descalcificar/suavizar/ “water softening”) al eliminar los iones que forman incrustaciones de minerales en paredes y tuberías, decolorar las aguas residuales para dejarlas claras y ayudar en el proceso de desalinización del agua. Las nuevas aplicaciones del nano-filtro son la producción de leche, producción de jugos, productos farmacéuticos y fragancias. Adicional, se está utilizando en la industria petrolera para eliminar toxinas en el agua de las arenas bituminosas (con aceite) y en el campo médico para extraer aminoácidos y lípidos de la sangre y las células.

## Recursos multimedia

### *Videos e imágenes*

- Infografía: “The Water Rich Versus the Water Poor”  
[seametrics.com/blog/water-rich-poor-infographicHow](http://seametrics.com/blog/water-rich-poor-infographicHow)
- “Lifesaver works”  
[youtube.com/watch?v=RMzHS9yoc5I](http://youtube.com/watch?v=RMzHS9yoc5I)
- “Lifesaver story”  
[youtube.com/watch?v=ffW7b8F6ue8&feature=youtube](http://youtube.com/watch?v=ffW7b8F6ue8&feature=youtube)
- “Lifesaver TED talk”  
[ted.com/talks/michael\\_pritchard\\_invents\\_a\\_water\\_filter.html](http://ted.com/talks/michael_pritchard_invents_a_water_filter.html)

### *Artículos*

- “Lifesaver Systems”  
[iconlifesaver.com](http://iconlifesaver.com)
- “Another Tiny Miracle: Graphene oxide soaks up radioactive waste”  
[news.rice.edu/2013/01/08/another-tiny-miracle-graphene-oxide-soaks-up-radioactive-waste-2](http://news.rice.edu/2013/01/08/another-tiny-miracle-graphene-oxide-soaks-up-radioactive-waste-2)
- “Students find high bacteria levels in Hamilton creek”  
[cbc.ca/news/canada/hamilton/news/students-find-high-bacteria-levels-in-hamilton-creeks-1.1131759](http://cbc.ca/news/canada/hamilton/news/students-find-high-bacteria-levels-in-hamilton-creeks-1.1131759)
- “A teabag style filter for Africa”  
[phys.org/news201320077.html](http://phys.org/news201320077.html)
- “Nanofiber Filters Eliminate Contaminants”  
[nasa.gov/pdf/41308main](http://nasa.gov/pdf/41308main) Nanofiber.pdf

## Referencias

1. "Centers for Disease Control and Prevention". (2013, Septiembre 06). "*Surveillance for waterborne disease outbreaks associated with drinking water and other nonrecreational water — United States, 2009–2010*". Recuperado de [cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6235a3.htm](http://cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6235a3.htm)
2. Dacey, J. (2009, Agosto 27). "*Molecules revealed in all their glory by microscope*". Recuperado de [physicsworld.com/cws/article/news/2009/aug/27/molecules-revealed-in-all-their-glory-by-microscope](http://physicsworld.com/cws/article/news/2009/aug/27/molecules-revealed-in-all-their-glory-by-microscope)
3. Hadhazy, A. (2013, Junio 04). "*Science of summer: How chlorine kills pool germs*". Recuperado de [livescience.com/37122-how-chlorine-kills-pool-germs.html](http://livescience.com/37122-how-chlorine-kills-pool-germs.html)
4. McGuire, V.L., 2007, "Changes in water level and storage in the High Plains aquifer, predevelopment to 2005: U.S. Geological Survey Fact Sheet" 2007–3029, 2 p.
5. "Minnesota Department of Health". (2005, Septiembre). "*Drinking water disinfection and disinfection by-products*". Recuperado de [health.state.mn.us/divs/eh/water/factsheet/com/ddbp.pdf](http://health.state.mn.us/divs/eh/water/factsheet/com/ddbp.pdf)
6. "Minnesota Department of Health". (2009). "*Cryptosporidium*". Recuperado de [health.state.mn.us/divs/eh/water/factsheet/com/cryptosporidium.html](http://health.state.mn.us/divs/eh/water/factsheet/com/cryptosporidium.html)
7. Stevens, S., Sutherland, L., and J. Krajcik. (2009). "The big ideas of nanoscale science and engineering: A guidebook for secondary teachers". Arlington, VA: "NSTA Press".
8. Tretter, T. R. (2006). "Conceptualizing nanoscale". "The Science Teacher", 73(9), 28–31.
9. Tretter, T. R., Jones, M. G., & Minogue, J. (2006). "Accuracy of scale conceptions in science: Mental maneuverings across many orders of spatial magnitude". "Journal of Research in Science Teaching", 43(10), 1061–1085.
10. "United States Census Bureau". (2013). "*U.S. and world population clock*". Recuperado de [census.gov/popclock](http://census.gov/popclock)
11. "World Meteorological Organization" (WMO), Geneva, 1996; "Global Environment Outlook 2000" (GEO), "UNEP, Earthscan", London, 1999.

## Reconocimientos

- Sandra Weeks, con Laura Arndt – "McREL International".
- Traducido al español por Rodfal A. Rodríguez y María T. Rivera de Cupey María Montessori School, San Juan, PR