



Micro bichos

Animales microscópicos

Rotíferos y su uso como máquinas limpiadoras del agua

Marco Antonio Jiménez-Santos¹
Michael Anai Figueroa-Sánchez^{2*}

¹Biology Centre CAS, República Checa.
²COMECyT, FES Iztacala UNAM, México.

*Autor para la correspondencia:
mafis.19061989@gmail.com

Resumen

Alrededor del mundo el incremento en la contaminación de los sistemas acuáticos es cada vez más alarmante. Hoy en día es imprescindible la búsqueda de alternativas eficaces para el manejo y limpieza sustentable del agua. Recientemente, se ha propuesto la integración de modelos biológicos y el desarrollo de nuevas tecnologías como posibles soluciones para disminuir la concentración de contaminantes en el agua. Actualmente se ha explorado el uso los rotíferos, organismos microscópicos que por sus características biológicas de alimentación y desplazamiento, y al usarlos en conjunto con microperlas captadoras de contaminantes, podrían ser utilizados como futuras máquinas limpiadoras del agua.

Palabras clave: Rotíferos, microperlas, contaminación, remediación, agua.

Problemática

La contaminación del agua es uno de los mayores problemas ambientales en todo el mundo, por lo que, la acumulación de contaminantes biológicos y químicos puede tener consecuencias graves en la salud del ser humano y los ecosistemas acuáticos. Por ejemplo, en México, entre los principales contaminantes se encuentran los metales pesados. Dichos metales, provienen en su mayoría de procesos relacionados con la actividad volcánica, minera e industrial. Entre algunos, el mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb) y cromo (Cr) han sido de interés por su presencia, abundancia y toxicidad en ambientes terrestres y acuáticos [5]. En sistemas acuáticos de

México estos metales se han encontrado en ríos, lagos y presas, donde se han reportado en concentraciones por arriba de los límites máximos permisibles (>0.005 mg/L) de la NOM-127-SSA1-2021. Por consiguiente, el conocimiento y desarrollo de nuevas tecnologías y alternativas sustentables podrían generar estrategias para reducir la concentración de contaminantes en los sistemas acuáticos de México y otras partes del mundo.

La investigación básica en el área de las ciencias como la biología, juega un papel fundamental en la generación y propuesta de tecnologías basadas en la naturaleza. El conocimiento adquirido sobre los aspectos taxonómicos y ecológicos que involucran la diversidad, hábitat, distribución, así como la respuesta de los organismos al ambiente; ha sido esencial para proponer el uso y aprovechamiento de microorganismos. La integración de la biología con otras áreas de conocimiento como la biotecnología y nanotecnología ha permitido proponer protocolos y prototipos de investigación para dar solución a problemas sociales, económicos y ambientales complejos.

Una aplicación de lo anterior lo podemos encontrar en la acuicultura, la cual contribuye con la economía y alimentación de la población a través de la optimización de los medios de crianza de peces y mariscos. Una de las grandes problemáticas a las que se enfrentan los acuicultores es a la pérdida del alimento seco. El alimento seco, por sus características físicas

como su flotabilidad, afecta en el consumo y aprovechamiento del alimento por los peces. Recientemente se propuso el uso de biocapsulas, donde los rotíferos se emplean como un vehículo o medio de transporte indirecto de nutrientes, con la capacidad de nadar y mantenerse físicamente activos en el agua, lo cual permite a los peces buscar y encontrar su alimento como en la naturaleza, lo que implica un mayor rendimiento de peces [2].

Por otro lado, en problemas asociados con la contaminación de los sistemas acuáticos, el trabajo de investigadores dirigido por Fernando Soto y colaboradores [1], propusieron como modelo de máquina a los rotíferos, capaces de capturar contaminantes en el agua con unas microperlas a los cuales denominaron “rotibot”.

¿Qué son los rotíferos?

Los rotíferos han sido importantes históricamente ya que estos fueron de los primeros microorganismos observados por Leeuwenhoek en 1670 durante la invención de los microscopios. Los rotíferos son animales microscópicos con una talla menor a 1 mm de largo,

por lo que no es fácil verlos a simple vista. Estos microorganismos se distribuyen en cada rincón del mundo, desde el polo norte hasta el polo sur. Se encuentran entre el hielo de los glaciares, en el suelo, en la hojarasca fresca, en el musgo de árboles y techos de las casas [3]. Sin embargo, son comunes en mares, ríos, lagos, presas, charcos e incluso en fuentes de parques y jardines. Aproximadamente, se reconocen un poco más de 2000 especies de rotíferos en todo el mundo.

Algunas de las características importantes de estos animales microscópicos, es que la mayoría de los rotíferos son hembras, capaces de reproducirse partenogenéticamente, es decir, sin la necesidad de un macho como pareja. Los rotíferos alcanzan densidades exorbitantes. Por ejemplo, en el Lago Nabor Carrillo en Texcoco, México, se han encontrado más de 700 rotíferos en un litro filtrado de agua. Un aspecto funcional de los rotíferos es que son considerados indicadores biológicos de la calidad del agua. Por ejemplo, el género *Brachionus* se ha asociado a sistemas acuáticos con problemas de contaminación. En ocasiones, bajo condiciones de estrés en el ambiente, como la



escasez del agua, los rotíferos llegan a producir huevos diminutos (< 200 micrómetros), también llamados huevos de dormancia, latencia o resistencia que permanecen en el fondo del agua esperando las condiciones adecuadas para reactivar a la población y continuar con su ciclo de vida.

Otras características importantes de los rotíferos es la presencia de cilios en la “cabeza”, los cuales son estructuras similares a pequeños cabellos que se mueven de forma homogénea a gran velocidad y cadencia. Estos movimientos generan corrientes haciendo que el agua circule a su alrededor. Cuando uno ve a los rotíferos al microscopio, estos cilios asemejan un movimiento giratorio o en forma de rueda del cual proviene su nombre (latín Rota: rueda, fera: “los que llevan”). En el video <https://youtu.be/dOBr-9vqNUc>, se pueden apreciar los cilios que se baten a gran velocidad. Además, el movimiento de los cilios en conjunto, promueven funciones de desplazamiento y alimentación. Por ejemplo, los rotíferos alcanzan velocidades de hasta 179 micrómetros por segundo, casi 10 veces más que las bacterias. A través de los cilios, son capaces de atraer partículas de alimento hacia la boca. La alimentación de los rotíferos juega un papel muy importante, ya que se alimentan de partículas más pequeñas a ellos como bacterias o microalgas. En su mayoría se consideran filtradores no selectivos en su alimento, es decir se alimentan de cualquier partícula, sin embargo, esto dependerá del tamaño de esa partícula para ser ingerida. Se ha observado que los rotíferos con una dieta de microalgas como *Chlorella vulgaris* (con talla menor a 5 µm) filtran una cantidad mayor a 2000 ml por individuo por minuto.

La combinación de sus características biológicas y el interés por encontrar soluciones sustentables para distintas problemáticas han llevado a los rotíferos a ser utilizados

como modelos en distintas áreas de estudio. Recientemente se ha propuesto su uso como biohíbridos, es decir, una combinación entre una unidad biológica y una no biológica. Los biohíbridos podría ser una alternativa de bajo costo sin el problema que conlleva una máquina como la fuente de energía o combustible, así como la contaminación que estas puedan generar [4]. El uso de microorganismos como herramientas o estrategias para la solución de grandes problemáticas dan paso a generar

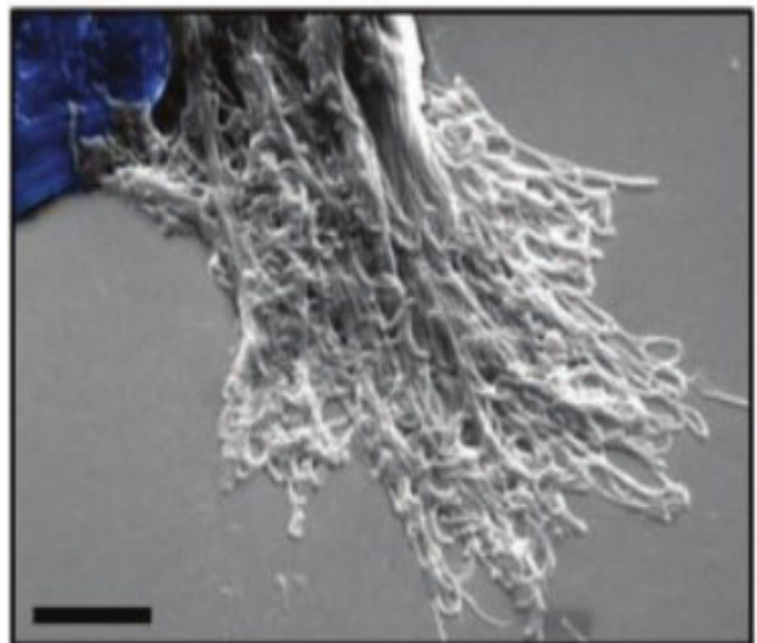


Figura 1. Secuencia temporal de la exposición de un rotífero a microesferas, las imágenes superiores son fotografías en microscopio óptico y las inferiores en microscopio electrónico. Tomado y modificado de [1] copyright Creative Common Attribution License..

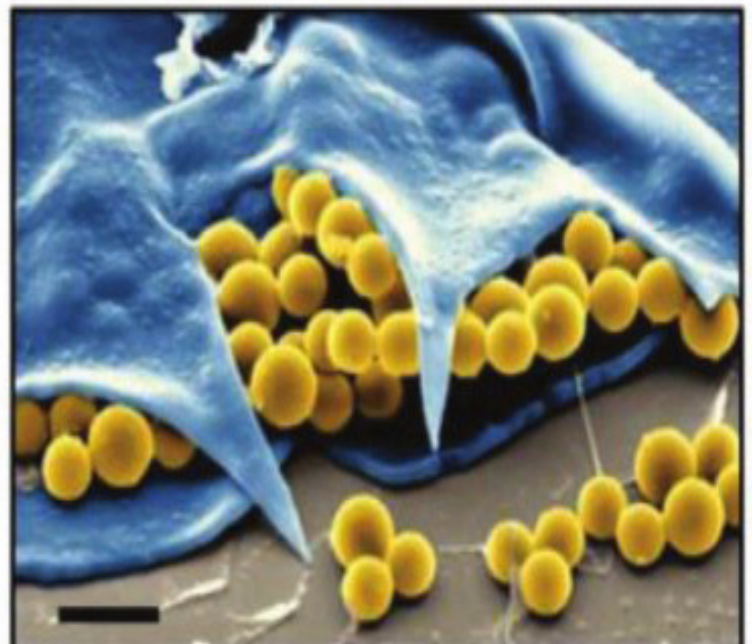
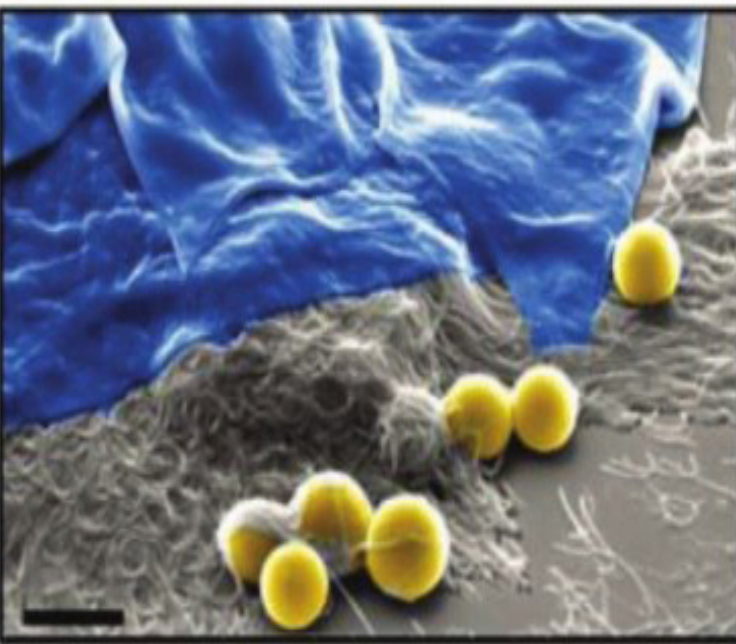
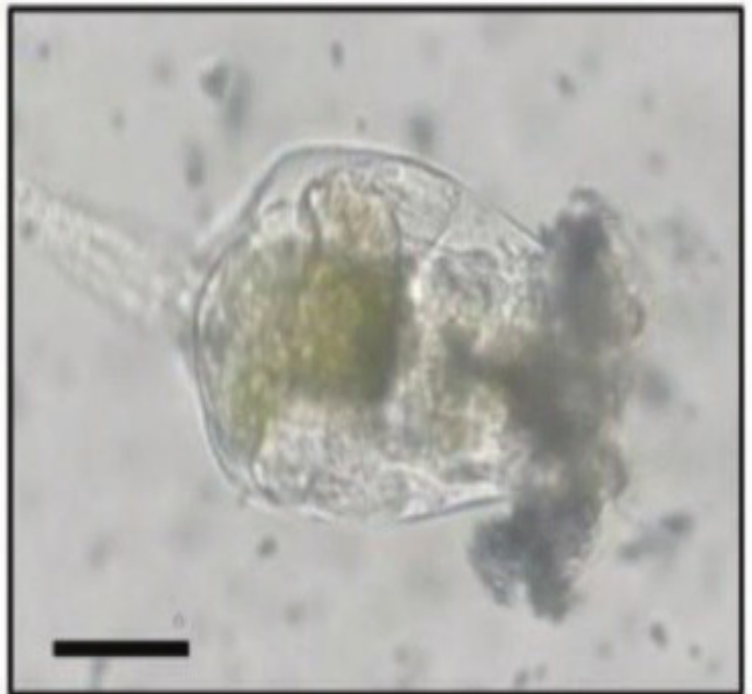
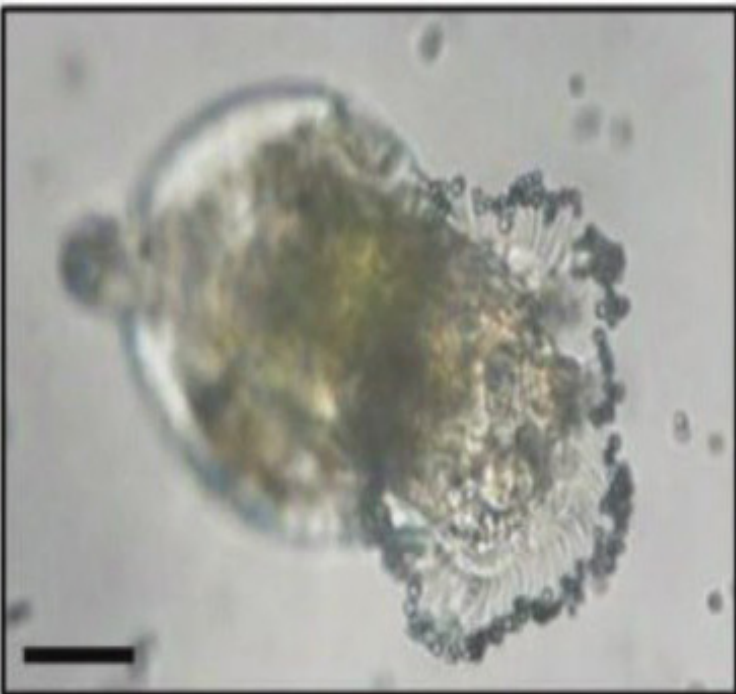
ideas salidas de una película de ciencia ficción.

Los rotibots: ¿Cómo funcionan?

En biotecnología, es demandante la búsqueda de materiales y máquinas autónomas que puedan ser útiles en la aplicación médica o ecológica. Actualmente, se trabaja bajo 3 modelos para la elaboración de componentes biotecnológicos, entre ellos los modelos a) artificiales, b) biomiméticos y/o c) biohíbridos [4]. En el desarrollo tecnológico de nuevas máquinas,

el agente móvil, es decir la fuente de impulso para realizar el trabajo, se considera fundamental, ya que depende de las fuentes de energía o combustibles para mover a las máquinas. Por lo tanto, se han buscado modelos basados en la naturaleza para tomarlos como referencia entre ellos los espermatozoides, algunas bacterias y animales microscópicos como los rotíferos [1,4].

El uso de rotíferos como máquinas biológi-



cas ha llamado la atención para la remediación de los sistemas acuáticos. Su desplazamiento y recolecta de alimento, se han considerado como un ejemplo de mecanismos para la captura y recolección de contaminantes en el agua. Soto y colaboradores [1] utilizaron rotíferos como sistemas autónomos que en conjunto con microperlas, también llamadas microesferas electroestáticas, constituyen un microrobot biohíbrido. Las microperlas, presentan cargas positivas y negativas, por un lado, estas se adhieren a la cabeza y alrededor de la boca del rotífero. Por otro lado, la carga de las microesferas trae como consecuencia la atracción de metales pesados como el plomo y el mercurio. Por consiguiente, el modelo de rotibot se convierte en una propuesta de limpiadores especializados que pueden atrapar contaminantes como metales pesados a un ritmo acelerado, en la figura 1, se muestra una secuencia de la exposición de un rotífero a las microesferas y cómo éstas se adhieren con el tiempo.

Los experimentos realizados por los investigadores Soto y colaboradores [1] demostraron que los rotibots son microlimpiadores ambientales efectivos. Llegaron a esta conclusión después de medir las concentraciones tanto de cadmio como de plomo, en condiciones donde se utilizaron rotíferos sin ningún tratamiento con microperlas y los rotibots. Los autores, encontraron que los rotibots remueven una mayor cantidad de contaminantes que los que no tuvieron un tratamiento previo con microperlas. Esto sugiere que podrían ser de ayuda en la remediación de cuerpos de agua en todo el mundo, incluso los autores del trabajo sugieren que el proceso de degradación de los metales pesados podría ser más rápido que los procesos de remediación convencionales.

El uso de rotibots como una alternativa de bajo costo se vuelve aún más atractivo debido a sus características biológicas de alimentación, desplazamiento y reproducción. Además, que se considerarían especies amigables con el ambiente, ya que no utilizan combustibles nocivos para su funcionamiento. Por lo tanto, podrían ser una opción útil para ampliar los

procesos de remediación de manera económica y sustentable.

Conclusiones

En conclusión, el desarrollo de los rotibots es un avance prometedor en el campo del saneamiento y la remediación ambiental. Al utilizar rotíferos como modelo biológico, no se requiere de combustible. El uso de microesferas para la captación y degradación de contaminantes en rotíferos, tienen el potencial de ser una solución efectiva y respetuosa con el medio ambiente frente a la creciente y preocupante contaminación. A medida que se realicen más investigaciones, es probable que los rotibots se conviertan en una herramienta de gran relevancia en la lucha contra la contaminación ambiental. Estudios como estos generan una base en la búsqueda de otras alternativas que consideren la naturaleza a través de principios similares de las microperlas con otras especies de rotíferos u organismos acuáticos, así como intentar no solo combatir los metales pesados si no otros contaminantes acuáticos. **iBIO**

Referencias

- [1] Soto, F., Lopez-Ramirez, M. A., Jeerapan, I., Esteban-Fernandez de Avila, B., Mishra, R. K., Lu, X., Chai, I., Chen, C., Kupor, D., Nourhani, A., & Wang, J. (2019). Rotibot: Use of rotifers as self-propelling Biohybrid Microcleaners. *Advanced Functional Materials*, 29(22), 1900658. <https://doi.org/10.1002/adfm.201900658>.
- [2] Lubzens, E., Tandler, A., & Minkoff, G. (1989). Rotifers as food in aquaculture. *Hydrobiologia*, 186–187(1), 387–400. <https://doi.org/10.1007/bf00048937>.
- [3] Wallace, R. L., Snell, T. W., y Smith, H. A. (2015). Chapter 13 - Phylum Rotifera. en Thorp and Covich's *Freshwater Invertebrates*. 4a ed. Thorp, H. J., y Rogers, D. C., pp: 225-271.
- [4] Chang, X., Feng, Y., Guo, B., Zhou, D., & Li, L. (2022). Nature-inspired micro/nanomotors. *Nanoscale*, 14(2), 219–238. <https://doi.org/10.1039/d1nr07172f>.
- [5] Delgado, C., Bautista, F., Gogichaishvili, A., Cortés, J. I., Quintana, P., Aguilar, D., & Cejudo, R. (2019). Identificación de las zonas contaminadas con metales pesados en el polvo urbano de la ciudad de Mexico. *Revista Internacional De Contaminacion Ambiental*, 35(1), 81–100. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.01.06>.