

La historia del río que necesitaba ser biorremediado

Luz de María Breton Deval
Instituto de Biotecnología UNAM

La Dra. Luz de María Breton Deval es Bióloga egresada de la Universidad de Guadalajara. Actualmente es catedrática CONACYT en el Instituto de Biotecnología de la UNAM y se ha especializado en el área ambiental y biorremediación. Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

El agua forma parte de todos los ecosistemas y es el recurso natural más abundante en la Tierra. Lamentablemente, según datos de la UNESCO, solo el 2.5 % de toda el agua es agua dulce y el resto es agua salada. A su vez, solo un tercio del agua dulce está disponible para consumo y está presente en lagos, ríos y acuíferos, a los cuales se le agregan los embalses. Finalmente, los otros dos tercios restantes son agua inmovilizada en los glaciares y nieves perpetuas. A los ríos les corresponde el 0.006% de esta agua dulce disponible, pero en la actualidad este porcentaje ha sufrido una reducción, ya sea en cantidad o calidad, o bien de ambas. El estado de salud de estos ecosistemas se mide a partir de índices de calidad de agua, basados en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, además de evaluar parámetros de diversidad biológica.

Los ecosistemas de agua dulce son afectados por actividades humanas, destacando principalmente la interrupción del cauce natural de los ríos, ya que actualmente el 60% de los ríos a nivel mundial se ven afectados. Otros ejemplos de impactos humanos a los ríos es la sobreexplotación de los cuerpos de agua, la construcción de diques, presas o caminos urbanos que alteran el torrente del agua de lluvia que recibían los ríos y por último, uno de los más devastadores es las descargas de efluentes industriales y domésticos.

La importancia ecológica de los ríos

Los ríos son una importante reserva de agua dulce, y el hábitat de muchas formas de vida como caracoles, plantas y peces, muchas de estas formas de vida constituyen el alimento de las comunidades aledañas. Otro punto importante a favor de los ríos es que el desarrollo de las comunidades, la disminución de la pobreza, está basada en el acceso al agua limpia, de ella depende el correcto aseo e higiene personal, el desarrollo adecuado de los cultivos y el equilibrio en el clima. Los ríos y arroyos en México

constituyen una red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud. En la cual existen 51 ríos principales en el país y en el estado de Morelos contamos con 12 ríos. Dentro de los cuales se destacan los ríos Cuautla y Apatlaco por su longitud e importancia ecológica y social. Por lo tanto, la conservación y el cuidado del agua en estos ríos, es de vital importancia para un gran número de especies animales y comunidades humanas el estado de Morelos, las cuales se verían afectadas debido a una mala calidad del agua y de manera más preocupante, por la disminución del afluente y eventualmente la escasez del vital líquido.

Situación actual del río Apatlaco

El río Apatlaco (Figura 1) se forma por el escurrimiento del agua a través de las barrancas y por infiltraciones de las lagunas de Zempoala y dos manantiales que lo alimentan. Tiene una longitud de 63 km y recorre los municipios de Huitzilac, Cuernavaca, Emiliano Zapata, Jiutepec, Temixco, Xochitepec, Zacatepec, Tlaltizapán, Jojutla y Puente de Ixtla.

El aumento de la población promovió el deterioro en el índice de la calidad del agua en el río. Una evaluación realizada por el Instituto Politécnico Nacional en colaboración con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), reportó que para el año 2013 la calidad del agua en el inicio del cauce del río era aceptable. Sin embargo, a lo largo de su curso, la calidad del agua comienza su deterioro, el cual continúa en todo el río sin llegar en ningún punto a recuperarse. (Figura 2). En aquel entonces el estudio arrojó resultados preocupantes donde se podía observar que el cuerpo de agua presentaba presencia de metales pesados como plomo. Este metal tiene efectos tóxicos graves en humanos, donde los niños son los más vulnerables.

Hoy en día, el río Apatlaco recibe alrededor de 321 descargas de las cuales 157 provienen de la industria, 135 son descargas domésticas y 29 del sector agrícola. Como resultado de estas descargas el río recibe una mezcla heterogénea de contaminantes como compuestos clorados, microplásticos, metales pesados, aceites,

mica de oxígeno y los bajos niveles de oxígeno cambian las condiciones del ecosistema acuático con lo que, entre otras cosas, se promueve el crecimiento de bacterias metanógenas las cuales liberan metano al medio ambiente, uno de los gases de efecto invernadero que más contribuye con el cambio climático.



Figura 2. Muestra de agua donde se observa la proliferación de algas por la excesiva carga de nutrientes en el río, esto promueve que miles de alevines queden atrapados y mueran.

nitratos, fosforo, materia orgánica, entre otros. Cada año el río Apatlaco transporta alrededor de 79'000,000 m³ de aguas sucias al océano, las cuales contribuyen a su acidificación y desequilibrio ecológico.

Un estudio reciente reporta que el río Apatlaco tiene concentraciones fuera de norma, en diferentes rubros y parámetros que se utilizaron para evaluar la calidad del agua. Los resultados obtenidos indicaron problemas como alta concentraciones de coliformes fecales, demanda química de oxígeno, nitrógeno, fosforo total, sólidos disueltos totales y en las partes más contaminadas bajos niveles de oxígeno. Adicional a la contaminación, los altos niveles en la demanda química

Los microorganismos presentes y nuevas metodologías para su análisis

Adicionalmente, en el estudio antes mencionado se realizaron análisis metagenómicos para dilucidar los géneros de los microorganismos presentes en el río y como varían a lo largo de esté de acuerdo al nivel de contaminación. Hay que recordar que la metagenómica es el estudio de toda la información genética contenida en los microorganismos que se encuentran en una muestra o ambiente, gracias a las nuevas tecnologías de secuenciación y análisis de ADN. Al extraer y analizar de forma global el material genético, secuenciando directamente los genomas de

estos microorganismos sin necesidad de cultivarlos, se tiene una gran ventaja, ya que muchos microorganismos no pueden ser aislados o cultivados. En la práctica, solo el 1% puede ser cultivable en el laboratorio, esto quiere decir que solo ese 1% puede ser detectado con los análisis rutinarios de un laboratorio microbiológico, que es el procedimiento más común en los estudios para la evaluación de la contamina-

ción en agua. Es por esto por lo que utilizaron herramientas de vanguardia como la estrategia de secuenciación "Whole Genome Shotgun" la cual consiste en tomar todo el ADN de la muestra ambiental, aislarlo y fragmentarlo al azar para su posterior secuenciación y reconstrucción mediante programas computacionales y así poder dilucidar a los microorganismos. Sería algo parecido a tener todas las piezas de un rompecabezas y al armarlo poder descubrir los microorganismos presentes en ese punto del río. Esta herramienta es tan poderosa que también permite identificar genes que están asociados patogenicidad o resistencia a antibióticos.

Es importante conocer los microorganismos que están presentes en el río ya que son ellos los que llevan a cargo gran parte de la limpieza de forma natural de los contaminantes que llegan al cuerpo de agua. Sin embargo, si las poblaciones microbianas han sido alteradas o están en desequilibrio, la degradación de los contaminantes por parte de los microorganismos no podrá ser llevada a cabo. En este sentido al inicio del río, se detectó ADN asociado a la población microbiana que está en equilibrio, con representantes de los géneros *Limnohabitans* y *Polaromonas*, que son microorganismos que habitan comúnmente en los cuerpos de agua limpios, por lo que encontrarlos en ese sitio nos indica que



Figura 1. Foto del río Apatlaco a la altura del puente ubicado en Jojutla

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial @acmor.org.mx



la calidad de esa agua es buena. No obstante, los demás puntos muestreados en el río presentan otro tipo de microorganismos. Entre ellos se detectó ADN de bacterias de los géneros *Escherichia* y *Salmonella*, los cuales generan enfermedades gástricas; *Acinetobacter* y *Pseudomonas*, que provocan infecciones de las vías respiratorias; *Prevotella* que provoca neumonías, gingivitis y vaginosis; *Aeromonas* y *Arcobacter* provocan enfermedades entéricas; finalmente también se detectó ADN perteneciente a bacterias del género *Arcobacter* que está clasificado como un patógeno emergente. Los patógenos emergentes son microorganismos que anteriormente no se conocían y por lo tanto no existen medicamentos específicos para tratar los brotes de infección que pueden ocasionar. Lo anterior supone un riesgo en salud pública y puede poner en peligro a los 1.6 millones de personas que viven a los alrededores del río Apatlaco.

Biorremediación: una solución factible

La biorremediación es un proceso que ha generado buenos resultados para tratar contaminantes diversos además de ser económico y amigable con el medio ambiente ya que utiliza microorganismos, hongos, plantas o alguna enzima o metabolito derivado biotecnológicamente de los mismos, para degradar a los contaminantes hasta llegar a su mineralización o degradación en algún compuesto menos tóxico. En ciertos microorganismos, la degradación de compuestos puede ser mediante co-metabolismo, el cual es un proceso inespecífico y no acoplado a la conservación energética de la bacteria, y se lleva a cabo mediante reacciones enzimáticas inespecíficas. En cambio, en otros microorganismos se llevan a cabo procesos utilizados en la biorremediación, y que son mediante mecanismos específicos que si implican una ganancia energética para la bacteria. Por lo tanto, es necesario conocer la biología de los microorganismos para seleccionar aquellos que puedan tener una aplicación en la biorremediación. Esta es un área multidisciplinaria que emplea conocimientos, metodologías y herramientas de diversas ciencias: biología, microbiología, química, agronomía, bioquímica, biotecnología y recientemente las ciencias ómicas (como la genómica), biología de sistemas y biología sintética. Nació alrededor de 1950 con investigaciones realizadas por científicos como la del microbiólogo norteamericano Claude E. Zobell y el ingeniero George M. Robinson, que estuvieron enfocadas en microorganismos degradadores de petróleo.

Las 'ómicas y su apoyo en la toma de decisiones medioambientales

En la actual era post-genómica, donde reinan las 'ómicas', término que hace referencia al conjunto de disciplinas como la (meta) genómica, proteómica, (meta) transcriptómica, metabolómica y fluxómica, y que de algunas se ha hablado en esta columna anteriormente. Las tecnologías de siguiente generación para la secuenciación de ADN (NGS por sus siglas en inglés), que son más rápidas y económicas, han permitido profundizar y ampliar el análisis de poblaciones microbianas y proveer información acerca de sus genes, los cuales pueden tener funciones que están involucradas en la degradación de contaminantes, codificando para enzimas clave en dicho proceso. Por un lado, la metatranscriptómica estudia la expresión de dichos genes, analizando las moléculas de ARN mensajero con una técnica llamada *RNA-seq*. Esta tecnología, ha permitido esclarecer los genes que estaban expresados en un momento y en condiciones particulares como puede ser una contaminación. Sin embargo, los análisis metatranscriptómicos *in situ* aún son escasos debido a las dificultades para poder recuperar ARN de buena calidad proveniente de muestras ambientales. Por otro lado, el uso de la proteómica o estudio de las proteínas, de su estructura y función en la biorremediación, permite analizar a las proteínas recuperadas de la muestra ambiental y así ligar esta información con los microorganismos encontrados para profundizar en el estudio de cómo el ambiente y los contaminantes modifican la función de los microorganismos. Además de poder determinar si existe alguna proteína interesante para futuras aplicaciones medio ambientales. Otras 'ómicas menos empleadas hasta el momento son la metabolómica o estudio de los metabolitos presentes en los organismos en un momento dado. Esta 'ómica permite profundizar en el conocimiento de cómo los microorganismos transforman nutrientes y contaminantes, así como el impacto que tienen factores ambientales como temperatura o salinidad en su metabolismo. Finalmente, la fluxómica o estudio de los flujos metabólicos nos proporciona información dinámica del sistema, al cuantificar los flujos metabólicos de una vía en particular y mediante la integración de estos datos en modelos matemáticos de producción y consumo de metabolitos poder realizar predicciones del sistema. Estas nuevas herramientas permiten conocer a profundidad la

interacción de las poblaciones microbianas con los contaminantes, generar modelos predictivos de remoción para reducir tiempos y costos en la biorremediación. En pocas palabras, permiten tomar decisiones basadas en resultados de tecnologías de vanguardia para tener soluciones más exitosas, más rápidas y menos costosas. Esperemos que todos estos estudios en el río Apatlaco, nos permitan evaluar la contaminación, buscar la mejor estrategia de biorremediación y monitorear constantemente la calidad del agua de este importante río para el beneficio de las comunidades morelenses aledañas.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

Lecturas recomendadas

Breton-Deval L., Juárez K., Sánchez-Flores A., Vera-Estrella R.

(2019). Water quality assessments and metagenomic analysis of the polluted river Apatlaco, Mexico. bioRxiv. <http://dx.doi.org/10.1101/536128>

Hansen A. M., Lopez L. E., Corzo, J. C. E., Falcón, R. A. Márquez, P. H., García, C. Z. (2013) Determinación del estado de salud e indicadores biológicos para la evaluación de la recuperación del río apatlaco. INFORME FINAL. Conacyt: MOR-2011-C02-173996

<http://www.acmor.org.mx/?q=content/la-metagen%C3%B3mica-y-el-mundo-secreto-de-las-bacterias>



XXX CONGRESO CUAM-ACMor

PROGRAMA / MAYO 2019

Jueves 2 de mayo:

Conferencia Magistral, Mesa Redonda y sesión de Congreso Académico

9:00 a 10:30 horas
Gimnasio CUAM
Conferencia Magistral

12:30 a 13:30 horas Gimnasio CUAM / Mesa Redonda:
"¿Cómo construimos un México desarrollado?"

10:30 a 12:30 horas
Congreso Académico

Viernes 3 de mayo:

Presentación de trabajos ante los evaluadores, evaluación y premiación

9:00 horas
Ceremonia de inauguración

9:30 a 14:00 horas
Exposición de proyectos.

14:30 horas
Ceremonia de premiación.

www.acmor.org.mx/cuamweb

INFORMES:

M. E. Alma Ayala
Presidenta del Comité Organizador
almaaayal@gmail.com
aayala@cuam.edu.mx

En Cuernavaca

M. A. Mayela Rodríguez
Coordinación operativa
mrodriguez@cuam.edu.mx
mayela.congreso@gmail.com
(01777) 315 6888
(01777) 316 2389

En la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

M. en B. Alma Caro
Secretaría Ejecutiva de la ACMor
almadcaro@yahoo.com.mx
Oficina (01 777) 311 08 88
Celular (044 777) 1557221

En México

Lic. Óscar Suárez Velázquez
ca@cuam.edu.mx
(01 55) 55 93 69 79
(01 55) 55 93 64 55

En Cancún

M. E. Norma Delgado
ndelgadoazar@gmail.com
(01 998) 88 99 292

En Mérida

M. en C. Arline Muñoz
arlinemg17@gmail.com
(01 938) 15 24 658

