



# El Acueducto

Gaceta del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
5ª época, número 5, enero-marzo, 2021

<https://doi.org/10.24850/j-imta-acueducto-2021-05>

 **LA ECO  
TOXICOLOGÍA**

 **PERSPECTIVAS  
DE LOS CONTAMINANTES  
EMERGENTES**

**UNO A UNO**  
*Juanita Cortés*  




**MEDIO  
AMBIENTE**

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES



**IMTA**  
INSTITUTO MEXICANO  
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA



# Mensaje del director general



Estimada comunidad IMTA:

Comienza este segundo año de la segunda época de nuestro Acueducto con la llama de esperanza que ha traído consigo el Programa Nacional de Vacunación, anunciando el principio del fin de la pandemia de COVID-19 en México. A nombre del Instituto, manifiesto nuestra solidaridad y acompañamiento en la pena que embarga a familiares y amigos de nuestras compañeras que se nos adelantaron: Socorro Salazar Orihuela y Yadira Peña Montiel, y hago votos para que los miembros de nuestra comunidad que han perdido a un ser querido encuentren una pronta resignación. Estas situaciones complicadas nos han permitido ver con mucha claridad la gran reserva de valores morales y humanos que tenemos como comunidad y que se reflejan en la solidaridad y cariño expresados.

En otro orden de ideas, quiero compartir con ustedes que, en diciembre de 2020, el Parlamento Latinoamericano y Caribeño aprobó la Ley Modelo de Sistemas Comunitarios de Agua y Saneamiento, la cual ayudamos a diseñar. Lo anterior se logró mediante un trabajo colaborativo con la Amexcid y FAO Mesoamérica, mismo que contó con la confianza de nuestras parlamentarias Dolores Padierna y Ana Lilia Rivera, así como la del diputado Diego del Bosque, y que pone a México a la vanguardia internacional, mostrando las nuevas formas de generar política pública.

Por otra parte, el rol del Instituto como proveedor de evidencia científica en beneficio de la sociedad es cada vez más evidente, como constata nuestra participación dentro del Plan de Justicia para el Pueblo Yaqui. De la mano de la Semarnat y del Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas, participamos para atender preocupaciones del pueblo yaqui relativas a la calidad del agua potable, la salinización de suelos en el Distrito de Riego 018 y la rehabilitación del río Yaqui. Esto nos ratifica como la inteligencia hídrica de México, con una ética de servicio a la sociedad, que utiliza el conocimiento e información para construir acuerdos y tejer alianzas que benefician a todos los mexicanos.

En este número leerán sobre la atención que hemos dado a temas novedosos y relevantes, como los contaminantes emergentes y la ecotoxicología. Y en nuestra sección invitada, "Perspectivas", el subsecretario de Planeación y Política Ambiental de la Semarnat, Arturo Argueta Villamar, nos presenta una reflexión detonada por el Día Mundial del Agua.

Los conmino a seguir haciendo la diferencia con entusiasmo y optimismo en nuestro quehacer diario para seguir siendo un motor importante de la transformación del sector hídrico nacional.

**Adrián Pedrozo Acuña**  
Director general

## CONTENIDO



4

La ecotoxicología: una disciplina integrativa	4
Perspectivas de los contaminantes emergentes en el mundo	6
Notas	8
Potabilización	10



12

Cooperación internacional	12
---------------------------	----



14

Perspectivas	14
Uno a uno con Juanita Cortés Mejía	16
Eventos	18
Efemérides	20



21

El redactor	21
Cruciagua	23
Voces del agua	24
Cuentos y leyendas del agua	25



27

Libros y películas	27
--------------------	----

## DIRECTORIO

**Director general:** Adrián Pedrozo Acuña.  
**Coordinadora de Tratamiento y Calidad del Agua:** Norma Ramírez Salinas. **Coordinador de Hidrología:** José Agustín Breña Naranjo.  
**Coordinador de Hidráulica:** Laurent Guillaume Courty. **Coordinador de Desarrollo Profesional e Institucional:** Alberto Rojas Rueda. **Encargado de la Coordinación de Riego y Drenaje:** José Antonio Quevedo Tiznado. **Encargado de la Coordinación de Comunicación, Participación e Información:** Marco Antonio Sánchez Izquierdo. **Coordinador de Administración:** José de Jesús Aguirre Bautista. **Coordinadora de asesores:** Malinali Domínguez Mares. **Jefe de la Unidad Jurídica:** Carlos Eduardo Solórzano López. **Titular del Órgano Interno de Control:** Omar González Balbuena.

El Acueducto. Gaceta del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 5ª época, número 5, enero-marzo, 2021.

Publicación trimestral, de distribución interna, editada por la Coordinación de Comunicación, Participación e Información; Subcoordinación de Vinculación, Comercialización y Servicios Editoriales.

**Coordinador editorial:** Marco Antonio Sánchez Izquierdo. **Editor responsable:** Emilio García Díaz. **Apoyo secretarial:** Verónica Jacobo Blancas. **Investigación y redacción:** Emilio García Díaz, Jesús Hernández Sánchez y Mónica Paulina Gutiérrez Jiménez. **Cuidado de edición:** Emilio García Díaz y Jesús Hernández Sánchez. **Fotografía:** Mónica Paulina Gutiérrez Jiménez. **Coordinación gráfica:** Marianella Espinosa Lara. **Diseño gráfico y formación:** Adolfo Remigio Armillas, César Plácido Malvaez Doroteo, Cinthya Berenice Uribe Osorio, Gloria Mary Carmen Ríos Beltrán, Mitzi Alejandra Estrada Román, Paola Olmedo Lara, Valeria Richter Soriano y Ana Lilia Torres García. **Diseño del logotipo:** Valeria Richter Soriano y Paola Olmedo Lara. **Versión digital:** Claudia Martínez Salgado. **Distribución:** Luz del Carmen Zavala Vázquez. **Oficina de redacción:** Edificio 16 "Casa Editorial". **Extensiones 309, 254 y 616. Aportes y sugerencias:** redaccionacueducto@tlaloc.imta.mx.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec,  
Morelos, MÉXICO  
C.P. 62550. Teléfono: 777 329 3600.

Impresa en los talleres de Impresión y Diseño.

**Nuestra portada:** Infraestructura de Calidad del Agua. **Diseño:** César Plácido Malvaez Doroteo, Cinthya Berenice Uribe Osorio.



# Editorial

El 2020 fue un año complicado, con incertidumbre, angustia y tristeza por la pérdida de un familiar, amigo o compañero, pero también con enseñanzas y logros que nos han permitido crecer y fortalecernos como seres humanos, tener otra perspectiva de la vida y de la problemática ambiental existente y, sobre todo, entender la importancia y responsabilidad que tenemos en la mejora de nuestro medio ambiente.

En este número hablaremos de la ecotoxicología, que es una disciplina integrativa que ayuda a la protección de los ecosistemas y que, si bien sigue siendo apenas una aproximación a la complejidad natural real, nos proporciona información que nos permite avanzar hacia la evaluación de riesgo ambiental, con la que se puede direccionar la regulación del uso de sustancias químicas liberadas en el ambiente.

Existen millones de sustancias químicas que contribuyen significativamente a la degradación del ambiente, entre las que se encuentran los contaminantes emergentes. La Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales ha trabajado en diferentes investigaciones con el objeto incrementar el porcentaje de su remoción mediante una combinación de procesos.

Por otro lado, dada la gran importancia que tiene proveer agua apta para uso y consumo humano, referimos cómo la Subcoordinación de Potabilización trabaja en la adaptación de procesos capaces de potabilizar el agua de calidad compleja a costos razonables y de manera eficiente y reseñamos un dispositivo magnético para la reducción de incrustaciones en los sistemas de conducción de agua.

La creciente problemática en la calidad del agua nos genera la necesidad de tener datos de parámetros clave en tiempo real, por lo que se ha trabajado en diseñar y construir el prototipo de un sistema de monitoreo con seis sensores, el cual es una alternativa de bajo costo para llevar a cabo el monitoreo de la calidad en cuerpos de agua en tiempo real.

Para asegurar la confiabilidad en los resultados que emite el Laboratorio de Calidad del Agua, se tienen pruebas acreditadas, las cuales cumplen con un sistema de gestión de calidad. En este número conoceremos las acciones que se requieren para conservar dicha acreditación.

Para el desarrollo de los proyectos es importante contar con capacidad tecnológica. La Subcoordinación de Potabilización nos plática sobre esta y los trabajos que se realizan.

Por último, agradezco a todos los que conforman la Coordinación de Calidad del Agua por los logros obtenidos en 2020, aun con la situación de la pandemia. Estos son una muestra del compromiso que se tiene para aportar al desarrollo sustentable del país, con base en principios éticos y de calidad técnica y académica.

*Norma Ramírez Salinas*  
**Coordinadora de Tratamiento y Calidad del Agua**



Desde el inicio de la Revolución Industrial, a finales del siglo XVIII, la sociedad humana no ha dejado de alterar de manera significativa el ambiente en aras de una mejor condición de vida.

Posteriormente, el desarrollo de la ingeniería química generó una enorme cantidad de productos industriales y farmacéuticos no solo de origen natural, sino de nuevas moléculas sintéticas cuyo número se estima en más 170 millones, de las cuales se tiene información toxicológica de alrededor de 100,000 a pesar de que actualmente son 312,000 las sustancias de uso regular, y su número sigue en aumento. Estas moléculas, al ser incorporadas a la intrincada red de procesos naturales que involucra fenómenos físicos, químicos y biológicos, han impactado de manera incalculable ambientes acuáticos (tanto dulces como marinos), terrestres y atmosféricos.

El estudio de los efectos de los contaminantes a través de los diferentes niveles de organización biológica determina el campo de trabajo entre la toxicología y la ecotoxicología, en donde la complejidad no solo es estructural, sino también espacio-temporal.

La toxicología es una ciencia experimental, basada en la comprensión de los efectos directos asociados con la exposición, realizada en laboratorios bajo variables controladas. Esta mide las respuestas o efectos a dos niveles: a nivel celular, a través del daño en el DNA, tasa de respiración y alteraciones metabólicas, y a nivel de individuo, donde las respuestas son mortalidad (como el conocido LC50 que es la concentración a la cual el 50 % de la población control muere en un periodo determinado), crecimiento, reproducción y comportamiento.

Cuando los estudios se llevan a cabo sobre poblaciones (individuos de la misma especie), comunidades (conjunto de poblaciones de distintas especies que interactúan en tiempo y espacio) y ecosistemas, estamos entrando en el terreno de la ecotoxicología, en donde las relaciones entre los factores no controlados abióticos y bióticos, como son las interacciones biológicas (p. ej. redes tróficas) y sus respuestas a la contaminación, conducen a una complejidad mucho mayor y, por ende, su interpretación es igualmente complicada.

Las respuestas a la contaminación a nivel población se traducen en cambios en la proporción de sexos, estructura genética y estructura de edades. En las comunidades, los efectos se pueden medir en efectos directos, como la pérdida de especies sensibles o reducción de número



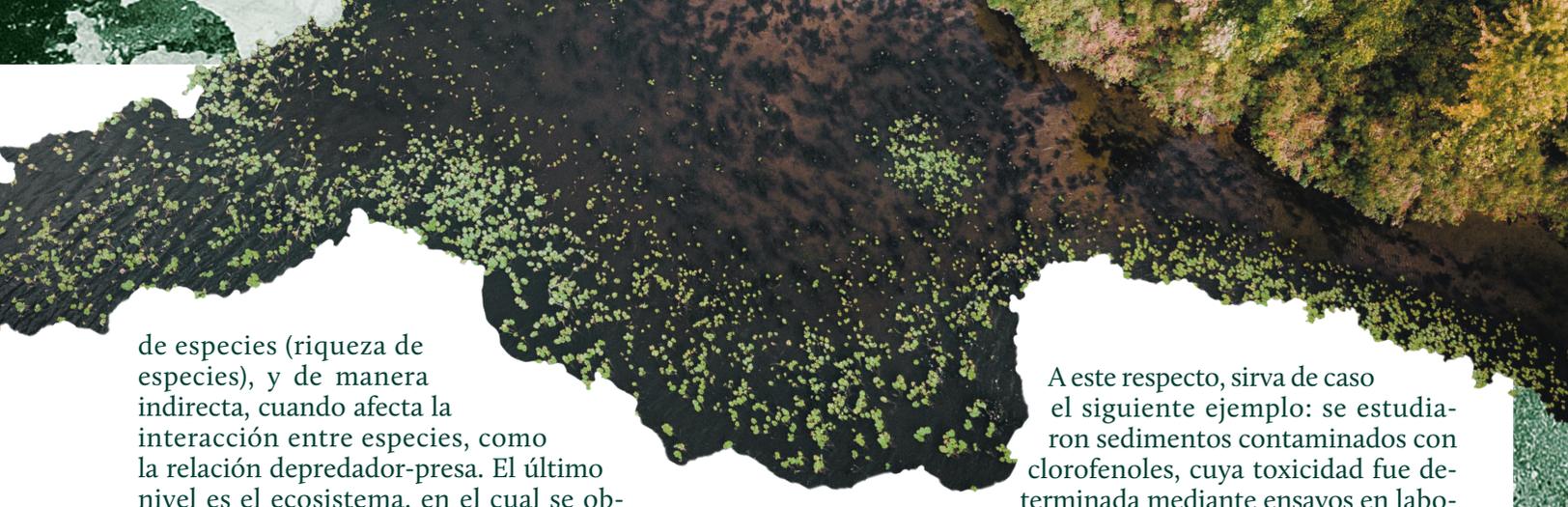
# LA EECO

# TOXICOLOGÍA

una disciplina integrativa

PARA LA PROTECCIÓN DE LOS

# ECOSISTEMAS



de especies (riqueza de especies), y de manera indirecta, cuando afecta la interacción entre especies, como la relación depredador-presa. El último nivel es el ecosistema, en el cual se observan cambios medibles a nivel de procesos, como la productividad, el ciclo de nutrientes y los cambios en la estructura de la red trófica completa o bien la simplificación de esta.

La ecotoxicología también puede llevarse al terreno experimental a través del uso de modelos de micro o mesocosmos, aplicados directamente en campo, en el cual se pueden hacer manipulaciones sobre algunas variables de estudio. El biomonitoreo es una herramienta que ha sido de gran utilidad en el estudio de los efectos de los contaminantes sobre las comunidades, y es definido como el uso de sistemas biológicos para evaluar la integridad estructural y funcional de ecosistemas acuáticos y terrestres.

Un gran reto que presenta la ecotoxicología es contar con la habilidad de diferenciar entre los efectos causados por agentes contaminantes y aquellos provocados por la variabilidad de los procesos naturales. Estos van asociados al incremento de variables no controladas pero que deben ser consideradas en las respuestas esperadas, y pueden ser de tipo abiótico (temperatura, profundidad, salinidad, oxígeno disuelto) o bien a otra escala espacial, como los gradientes altitudinales y sus variables hidrológicas, mientras que las variables bióticas incluyen desde los procesos o cambios en los ciclos de vida de los organismos (huevo, larvas, pupas, adultos) hasta las interacciones o complejidad de las redes tróficas, las cuales naturalmente varían dependiendo del tamaño del cuerpo de agua o área estudiada y la riqueza que puede albergar.

La unificación de los elementos ecológicos y toxicología es fundamental para identificar las adecuadas opciones de manejo y control de sitios contaminados, en los cuales las interacciones bióticas y abióticas multivariadas y multiescalares, desempeñan un papel modulador en los procesos contaminantes que pueden ser identificados e interpretados adecuadamente mediante la consolidación de la ecotoxicología.

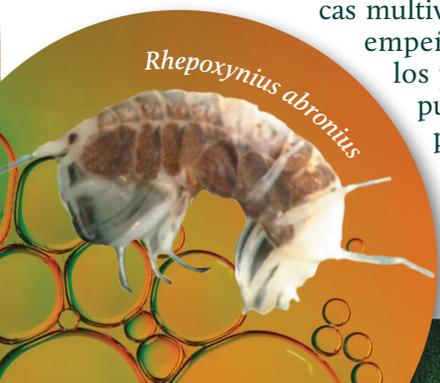
A este respecto, sirva de caso el siguiente ejemplo: se estudiaron sedimentos contaminados con clorofenoles, cuya toxicidad fue determinada mediante ensayos en laboratorio usando como organismo de prueba al anfípodo *Rhepoxynius abronius*.

El efecto fue de mortalidad muy alta; sin embargo, cuando se llevaron a cabo los estudios de la comunidad bentónica del lugar de afectación, se reportó, sorprendentemente, una comunidad natural no afectada, incluida la población de anfípodos. La discrepancia en resultados se resolvió al observar que, en el entorno natural, los sedimentos contaminados habían sido cubiertos por 1-2 cm de sedimento no contaminado que había sido recolonizado con éxito por una diversa comunidad bentónica.

Otra manera eficaz de abordar los estudios ecotoxicológicos mediante el biomonitoreo es a través de la ubicación de un sitio de referencia. Estos deben tener la característica de presentar todas las condiciones naturales del sitio de estudio, pero sin la afectación que se desea estudiar. Los resultados se basarán particularmente en medir las mismas variables de respuesta entre ambas comunidades, o lo que es lo mismo, lo observado versus lo esperado.

A pesar de los notables avances entre toxicología y ecología y su progresiva integración, hasta el momento, la ecotoxicología sigue siendo apenas una aproximación a la complejidad natural real, ya que para comprender cómo responden los organismos a una contaminación en su hábitat es necesario no solo interpretar el mundo desde la multiplicidad de sus interacciones y estrategias para su integración, sino tener la capacidad de medirlos a través de modelos explicativos y reproducibles. Es por ello que se debe seguir avanzando en consolidar verdaderos estudios ecotoxicológicos.

La evaluación de riesgo ambiental, que es la evaluación integrativa y multinivel de los efectos ecológicos adversos que ocurren como resultados de la exposición a contaminantes, basada en la aplicación de la ecotoxicología, se constituye como la alternativa óptima para la toma de decisiones relacionadas con la protección de los ecosistemas y que debe direccionar la regulación del uso de sustancias químicas liberadas en el ambiente.





## PERSPECTIVAS DE LOS CONTAMINANTES EMERGENTES EN EL MUNDO

En los últimos años, la contaminación ambiental se ha intensificado debido al creciente nivel de vida de la sociedad, la aplicación generalizada de los compuestos químicos sintéticos y la demanda de los consumidores. Ahora, con la aparición del coronavirus SARS-CoV-2 en el medio ambiente, esta preocupación se ha incrementado aún más. Por ejemplo, se ha estimado que el consumo mundial de productos farmacéuticos fue superior a los 4,500 millones de dosis en el 2020, lo que representa un 24 % más en comparación con el número registrado en el 2015. Más de una dosis de estos productos farmacéuticos por persona fue consumida por la mitad de la población a nivel mundial en el 2020, incluidas más de 943 nuevas sustancias activas en la lista de los productos farmacéuticos. La presencia de contaminantes emergentes (CE) en los entornos acuáticos (agua potable, aguas subterráneas, aguas superficiales, influentes y efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales), atmósfera, organismos acuáticos y sedimentos sigue siendo un gran desafío para el medio ambiente y la salud humana, ya que las bajas concentraciones de-

fectadas en el ambiente (por debajo de los microgramos por litro) pueden tener impactos toxicológicos en organismos de diferentes niveles tróficos, ya que pueden alterar la estructura y las actividades metabólicas de los organismos vivos. Por lo tanto, estos CE, deben ser eliminados o controlados en el medio ambiente. Los términos “contaminante emergente”, “microcontaminante” o “contaminante emergente de alta preocupación” están relacionados con los grupos de productos químicos conocidos o de nueva creación, que incluyen productos para el cuidado personal, compuestos farmacéuticos, compuestos disruptores endocrinos, hormonas, edulcorantes artificiales, retardantes de llama bromados y clorados, herbicidas, subproductos de la desinfección, plastificantes, sustancias preservantes de madera y detergentes para ropa. En los últimos años también se han considerado también como contaminantes emergentes de alta preocupación las nanopartículas, microplásticos, tierras raras o elementos raros de la tierra, genes de resistencia a antibióticos y al virus SARS-CoV-2.

Diferentes estudios han registrado la presencia de CE en el medio acuático (principalmente en las aguas residuales) en varios países y regiones en el rango de picogramos por litro a miligramos por litro. La presencia de CE en las aguas residuales está directamente relacionada con la vida cotidiana humana y las actividades industriales que a menudo se producen en las áreas urbanas y sus





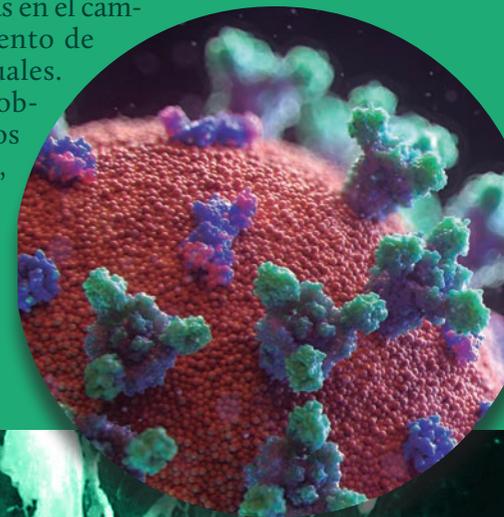
**POR  
EDSON BALTAZAR  
ESTRADA ARRIAGA**

**PARTICIPANTES:**

Petia Mijaylova Nacheva  
Tania Gutiérrez Macías



alrededores o áreas contaminadas por residuos municipales. La descarga controlada o no controlada y la persistencia de los CE plantean un desafío significativo para los reguladores de políticas, los ingenieros y la comunidad científica. Las tecnologías de tratamiento de aguas residuales han demostrado ser ineficaces para la eliminación de una variedad de CE. Las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales están diseñadas para la eliminación de materia orgánica biodegradable que contiene principalmente carbono y nitrógeno. Sin embargo, los CE son generalmente resistentes a la biodegradación y son de naturaleza recalcitrante. Por lo tanto, los CE no se eliminan eficientemente de los sistemas de tratamiento convencionales. Se han investigado diferentes tecnologías para la eliminación de estos CE, tales como procesos biológicos convencionales (lodos activados), procesos biológicos no convencionales (biorreactores con membranas), reactores anaerobios (reactores anaerobios de flujo ascendente), procesos de membranas (osmosis inversa), adsorción con carbón activado, procesos de oxidación avanzada (reacción Fenton), sistemas bioelectroquímicos (celdas de combustible microbianas) y electrooxidación (electrocoagulación), por mencionar otros. Existen ciertas limitaciones asociadas con todas estas tecnologías, como la formación de subproductos intermedios que podrían ser más tóxicos que el compuesto principal y los altos costos de la operación de las tecnologías de tratamiento. Por lo tanto, es necesario desarrollar nuevos métodos o técnicas de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de los CE más eficiente y de bajo costo. En el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua hemos realizado diferentes investigaciones en el tema de CE con el objetivo de incrementar su eliminación en las aguas residuales y determinar los mecanismos de eliminación utilizando procesos biológicos avanzados y procesos de oxidación avanzada, tales como biorreactores con membranas, celdas de combustibles microbianas, bioelectroFenton, celdas de electrolisis microbianas, reactores de lecho móvil, biofiltración sobre medio orgánico, reactores aerobios de lecho sumergido, digestores anaerobios, oxidación electroquímica, electroFenton y Fenton, las cuales son innovadoras en el campo del tratamiento de las aguas residuales. Aunque se han obtenido resultados prometedores, se continúa trabajando para llevar estas tecnologías a una escala real para ser implementadas en nuestro país.





# Notas

## Dotabilización en aguas complejas

Sistema ozonador-biofiltración

Por Carlos David Silva Luna

En el valle de México se han identificado pozos cuya agua contiene una mezcla de contaminantes que ocasionan problemas estéticos en las líneas de distribución y afectaciones a la salud. En especial, la presencia simultánea de nitrógeno amoniacal ( $N-NH_4$ ) y materia orgánica (MO) puede dificultar el tratamiento convencional de potabilización. La MO produce color en el agua y puede llegar a formar compuestos tóxicos para el ser humano cuando se utiliza cloro en la desinfección, mientras que el  $N-NH_4$  en concentraciones superiores a 6 mg/L, aunque sea removido por membranas, no cumple con la normatividad para agua potable. Este tipo de agua se puede considerar compleja para su tratamiento y requiere de procesos alternativos, como el uso de ozono y biofiltración. Es sabido que el ozono es capaz de fragmentar la MO, lo cual incrementa la biodegradabilidad; por lo que puede emplearse como un pretratamiento para la biofiltración, donde microfloras nitrificantes y heterótrofas (consumidoras de  $N-NH_4$  y MO) eliminen estos contaminantes. En el IMTA se han desarrollado proyectos para remover simultáneamente MO y  $N-NH_4$ . En un estudio reciente se está operando un sistema de ozono-biofiltración (figura 1) para tratar agua de un pozo al oriente de la CDMX con concentraciones promedio de 144 y 13.2 mg/L de demanda química de oxígeno (DQO) y  $N-NH_4$ , respectivamente. Los resultados han sido favorables, con un 98.8 % de eficiencia en la remoción de  $N-NH_4$ . Sin embargo, la eficiencia de consumo de DQO ha sido ligeramente superior al 50 %. De esta manera, el IMTA coadyuva en adaptar procesos que sean capaces de tratar agua de calidad compleja a costos razonables y de manera eficiente.

## Dimtawui :

Dispositivo Magnético para la Reducción de Incrustaciones en los Sistemas de Conducción de Agua

Por César Calderón

### Problemática

En algunas zonas del país existen problemas por mala calidad de agua debido a la presencia de una alta dureza (carbonato de calcio) en el agua de abastecimiento, lo que genera incrustaciones en tuberías y equipos domésticos o industriales, que al paso del tiempo provoca obstrucciones por reducción de diámetro y, por ende, en muchos de los casos son remplazados, ocasionando costos adicionales de mantenimiento.

Para la solución de este problema, el IMTA elaboró y patentó un dispositivo magnético que fue denominado Dimtawui (Pat. Núm. 347498). En su desarrollo participaron Silvia Gelover Santiago, Esperanza Ramírez Camperos, Luciano Sandoval Yoval e Iván Villegas Mendoza.

### Características

El dispositivo puede ser de forma prismática o cilíndrica, y está constituido por una carcasa o cubierta de material ferromagnético que contiene en su interior una cámara formada por imanes permanentes, que están espaciados entre sí, formando canales de tratamiento por donde pasa el agua que recibe un campo magnético, y cuya intensidad depende de la apertura de los canales y de la amplificación del campo que provoca la carcasa. El dispositivo puede ser bridado o roscado en sus extremos, lo que permite un acoplamiento fácil a la tubería. Se puede fabricar a cualquier diámetro.

### Participantes:

- Esperanza Ramírez Camperos
- Iván Villegas Mendoza
- Luciano Sandoval Yoval
- Silvia Gelover Santiago

## ¿Cómo funciona?

La forma cristalina más estable e incrustante del carbonato de calcio es la calcita, que forma cristales romboédricos. El Dimtawui proporciona energía al agua que pasa a través de él, por medio de un campo magnético, que favorece la formación de aragonita, cristal de carbonato de calcio en forma de prisma ortorrómbico, no incrustante, y fácilmente desprendible de la superficie en que se deposita.

## Instalación

Se instala en la tubería que conduce el agua antes del equipo doméstico o industrial a proteger, evitando cambios de diámetro, codos o zonas de turbulencia.

## Monitoreo

en tiempo real de la calidad del agua descargada de la termoeléctrica La Huexca hacia el río Cuautla

Esquema unifilar de la descarga de la termoeléctrica La Huexca.

Por Jorge L. Izurieta Dávila

El trabajo de monitoreo de parámetros de calidad del agua en ríos y embalses se lleva normalmente a cabo de manera puntual. Con los avances y mejoras en la tecnología de registro de datos y sensores, que iniciaron en la década de los cincuenta, ahora es posible medir o calcular directamente las concentraciones de varios componentes de la calidad del agua. Actualmente, los sensores permiten medir parámetros como la conductividad, el pH, la temperatura, la turbidez y el oxígeno disuelto. Existen también sensores que miden porciones del espectro electromagnético (luz), que indican adsorción o dispersión para estimar las concentraciones de turbidez, clorofila, nitratos y fluorescencia. El desarrollo de nuevos sensores continúa a medida que aumenta la necesidad de contar en campo con más información sobre la calidad del agua.

Adicionalmente, y con los avances en materia de sistemas de adquisición y transmisión de datos, es posible llevar a cabo el monitoreo de las variables de calidad del agua en intervalos de tiempo preestablecidos (segundos, minutos u horas), y subir esta información a una página web para su posterior consulta.

El río Cuautla es una fuente importante de suministro para la producción agrícola en la región, y un ecosistema

de importancia ecológica por su biodiversidad. En 2019, el IMTA llevó a cabo un estudio, cuyo objetivo fue establecer la línea base de las condiciones de calidad del agua actual para evaluar las probables afectaciones por la entrada en operación de la termoeléctrica La Huexca, la cual descarga al río Cuautla. Este estudio permitió diseñar y construir el prototipo de un sistema de monitoreo con seis sensores, el cual es una alternativa de bajo costo para llevar a cabo el monitoreo de calidad del agua en cuerpos de agua en tiempo real.

## ¿Qué implica ser un laboratorio acreditado?

Por Julia Elena Prince Flores

El Laboratorio de Calidad del Agua del IMTA cuenta con acreditación ante la Entidad Mexicana de Acreditación, A.C., con el número de acreditación AG-177-032/09. Fue pionero en su rama en la implementación de un sistema de gestión de calidad. Nuestra primera acreditación data de 1997, y se ha mantenido vigente, actualizándonos a los cambios de la normatividad. En 2019 obtuvimos la renovación de la acreditación bajo la nueva norma NMX-EC-17025-IMNC-2018, que establece los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

Para conservar la acreditación y garantizar la confiabilidad de nuestros resultados, llevamos a cabo una serie de acciones, entre las que destacan:

- Confirmación del método, cuando este es implementado aplicando normativas mexicanas como referencia.
- Análisis de muestras sintéticas a distintas concentraciones, muestras reales y condiciones de operación, donde evaluamos la linealidad del método, intervalo de trabajo, límites de detección y de cuantificación, repetibilidad (precisión), exactitud, sesgo, reproducibilidad e incertidumbre.
- Evaluación de cada analista que se incorpora al Laboratorio con una prueba inicial de desempeño.
- Implementación y validación de nuevos métodos, así como en el desarrollo y adaptación de métodos internacionales.
- Revisión de normas mexicanas de análisis de agua para su actualización.
- Inclusión de controles de calidad: muestras blanco, estándares, muestras fortificadas, duplicadas o triplicadas.
- Registros de estos controles para detectar tendencias que revelen un error sistemático.
- Ensayos de aptitud a través de comparaciones interlaboratorios, lo que nos garantiza que nuestros resultados sean tan confiables como los de cualquier otro laboratorio de análisis de aguas, sea este nacional o extranjero.
- Mantenemos registros de todas las actividades realizadas, para garantizar la rastreabilidad de todos los procesos de muestreo y análisis.



# CAPACIDAD TECNOLÓGICA

## POTABILIZACIÓN

La Subcoordinación de Potabilización es un grupo especializado conformado por siete tecnólogos del agua y una subcoordinadora, especialistas en diversos sistemas basados en procesos fisicoquímicos, electroquímicos y biológicos enfocados principalmente al tratamiento de agua para uso y consumo humano, así como acondicionamiento de agua para la industria. Las actividades preponderantes de este grupo de trabajo, su capacidad tecnológica y algunos de sus logros se mencionan a continuación:

## SERVICIOS TECNOLÓGICOS

Se realizan estudios y proyectos para remoción de contaminantes de aguas superficiales, subterráneas y meteoricas para uso y consumo humano, así como para el acondicionamiento del agua para la industria, en localidades urbanas y rurales, mediante:

- Caracterización de calidad de agua de fuentes de abastecimiento
- Pruebas de tratabilidad a escala laboratorio y piloto
- Elaboración de ingeniería básica y proyectos ejecutivos de plantas potabilizadoras
- Elaboración de términos de referencia técnicos para bases de licitación de proyectos y obras, y asistencia en evaluación técnica de propuestas
- Reingeniería de plantas potabilizadoras
- Asistencia técnica en etapas de construcción y puesta en marcha de plantas potabilizadoras
- Evaluación de plantas potabilizadoras
- Transferencia de tecnologías de potabilización a pequeñas comunidades
- Evaluación de dispositivos, equipos, membranas y reactivos para la potabilización
- Cursos de operaciones y procesos unitarios de plantas potabilizadoras, diseño y evaluación
- Capacitación y certificación en competencia laboral para operadores de potabilizadoras de clarificación convencional

Entre los múltiples servicios tecnológicos realizados por el personal de Potabilización destacan los siguientes:

- 1) Proyectos funcionales para la rehabilitación integral de 16 plantas potabilizadoras en la Ciudad de México y estudios de diagnóstico, diseños funcionales y elaboración de términos de referencia para la rehabilitación integral de seis plantas potabilizadoras en la Ciudad de México (2019).
- 2) Apoyo al Simas-Torreón (2011-2013) y a la Conagua (2014-2018) en los diseños (45 plantas), términos de referencia, evaluación de propuestas, seguimiento a la construcción y evaluación de las plantas potabilizadoras que aplican la filtración directa para la remoción de arsénico en la zona de la Comarca Lagunera de los estados de Coahuila y Durango, donde se atendieron cincuenta pozos con contenido de arsénico superior al límite que establece la NOM-127.
- 3) Proyecto de potabilización para la remoción de manganeso de los pozos de la cabecera municipal de Jaral del Progreso, Guanajuato, donde se aplicó la tecnología desarrollada y patentada por el IMTA para remover estos contaminantes (2017).
- 4) Estudios de factibilidad técnica-económica para la implementación de sistemas de membranas para potabilizar agua de diversas fuentes de abastecimiento, especialmente agua de pozo profundo, agua de mina, agua de mar y fuentes superficiales con sólidos disueltos  $\geq$  a 1000 mg/L, donde se estudia la remoción de sólidos disueltos como arsénico, fluoruros, nitratos, sulfatos, cadmio, sodio, así como compuestos emergentes (p. ej. hormonas, fármacos, productos de cuidado personal).
- 5) Diseño y evaluación de una planta potabilizadora para atención de emergencias de la Sedena para tratar cualquier tipo de agua superficial o salobre para su potabilización, la cual está constituida por un sistema de clarificación convencional a presión acoplada a un sistema de membranas de ósmosis inversa y desinfección con UV (2013).
- 6) Evaluación técnico-económica de tecnologías de remoción de cromo para remediación del acuífero Cuautitlán-Pachuca (2011) y Estudio de factibilidad de la remediación del acuífero Cuautitlán-Pachuca, localmente contaminado por cromo en la zona de Lechería, municipio de Tultitlán, Estado de México, proyectos contratados por la Semarnat y posteriormente la Conagua, con el cual se llevaron a cabo pruebas de tratabilidad y el análisis técnico económico, de diferentes opciones de solución de un problema que afecta a la población de toda la zona (2014).



## INFRAESTRUCTURA

El Laboratorio de Potabilización cuenta con infraestructura especializada para realizar estudios que ayudan a determinar el mejor proceso de tratamiento para diferentes calidades de agua. Las pruebas pueden realizarse a escala semipiloto o piloto, ya sea *in situ* o en el laboratorio y son herramientas indispensables para el diseño y optimización de plantas potabilizadoras y de procesos para acondicionamiento de agua para la industria.

- Laboratorio de membranas. Plantas piloto de 1 L/s de microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa y banco para pruebas no destructivas.
- Laboratorio de procesos fisicoquímicos y electroquímicos. Equipo y modelos para pruebas de tratabilidad a escala laboratorio, equipos portátiles y de mesa para análisis de calidad de agua, plantas potabilizadoras semipiloto de tratamiento (clarificación, electrocoagulación y adsorción), plantas piloto de 1 L/s para clarificación convencional y de electrocoagulación.
- Infraestructura para acondicionamiento de agua para uso industrial: Torre de enfriamiento de tiro inducido, equipada para la adquisición de datos y monitoreo continuo, con rack para colocación de testigos de corrosión, diseñada para realizar evaluaciones técnico-económicas de productos utilizados en el tratamiento de agua para sistemas de enfriamiento. Sistema de oxidación avanzada a nivel semipiloto para remoción de colorantes textiles.



## DESARROLLOS TECNOLÓGICOS

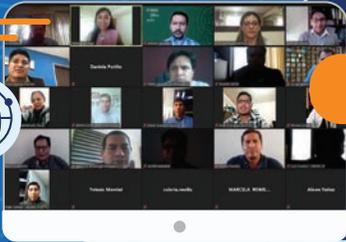
La Subcoordinación de Potabilización cuenta además con diversos desarrollos tecnológicos patentados, tales como:

- Tecnología para remoción de hierro y manganeso, que se ha transferido de forma muy exitosa por más de 20 años en diversos lugares de la república, como en la Ciudad de México, y en los estados de México, Sinaloa, Chihuahua, Chiapas y Guanajuato
- Electrocoagulación, diseñada y probada para la remoción de arsénico, cromo, fluoruros, fosfatos y compuestos emergentes en agua destinada al consumo humano y la remoción de sílice
- Sistema de desinfección de agua mediante radiación solar, el cual elimina concentraciones de bacterias hasta de  $10e+6$ , para aplicarse en comunidades rurales que no cuentan con sistema formal de abastecimiento y donde el agua solo tiene problemas bacteriológicos
- Sistema de desinfección con radiación UV ("tUVo") de fabricación casera y de bajo costo, que no altera el sabor del agua, no forma subproductos de la desinfección, como el cloro y de alta eficiencia en la remoción de coliformes totales y fecales, el cual se aplica en comunidades rurales que no tienen servicio de agua potable
- Sistema de "Filtración en Múltiples Etapas" (FIME), constituido por unidades de filtros gruesos dinámicos, filtros gruesos de flujo vertical y filtros lentos de arena y que se emplea para potabilizar agua proveniente de fuentes de abastecimiento superficiales en comunidades rurales. Las principales ventajas del FIME son que no requiere del uso de sustancias químicas ni equipos electromecánicos, es de bajo costo, de fácil operación y requiere poco mantenimiento.



# COOPERACIÓN INTERNACIONAL

## BOLIVIA



En el marco del proyecto *Desarrollo de capacidades e intercambio de experiencias en el sector riego* se llevó a cabo el curso *Formulación, Seguimiento y Ajuste de Panes de riego* del 7 al 16 de diciembre de 2020, en el que se enseñó a los participantes a utilizar el *software* PlanDR para agilizar el proceso del plan de riego con pocos requerimientos de información, el cálculo y el envío de la información y la generación de reportes de cada año agrícola.

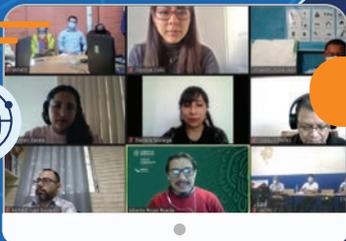
## HONDURAS

En el marco del proyecto *Formación de recursos humanos en el uso de herramientas computacionales para el manejo de drenaje urbano*, se realizaron dos ciclos de asesorías virtuales: uno relativo al programa SWMM y otro al programa HEC-HMS, con el objetivo de revisar y retroalimentar los avances que ha tenido la Alcaldía Municipal del Distrito Central (AMDC) de Tegucigalpa, Honduras, en la implementación de dichas herramientas computacionales luego de las capacitaciones brindadas en 2019.

Los ciclos de asesorías fueron impartidos, con apoyo de la Amexcid, por tecnólogos del IMTA a 12 expertos de la AMDC para la construcción de modelos hidrológicos con el fin de determinar los escurrimientos hacia la zona urbana de la ciudad de Tegucigalpa, Honduras.



## NICARAGUA



En el marco del proyecto *Desarrollo de técnicas y herramientas para el manejo, cuidado y almacenamiento de agua en centros escolares de Nicaragua*, el IMTA impartió el curso virtual *Hidrología Básica, Relación Agua-suelo-bosque y almacenamiento de agua de lluvia*, capacitando a cuarenta promotores de nueve departamentos del corredor seco nicaragüense. Como resultado de la actividad, los participantes diseñaron proyectos para el almacenamiento de agua de lluvia.

## REPÚBLICA DOMINICANA

Como parte de las actividades del proyecto *Fortalecimiento de las capacidades técnicas para la implementación de servicios de agua potable y saneamiento con participación comunitaria organizada*, personal del IMTA impartió el curso virtual *Transferencia Tecnológica para la Sustentabilidad Hídrica* el 13, 14, 15, 22 y 23 de octubre de 2020, cuyo objetivo fue capacitar a promotores y personal de Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (Inapa) en el proceso de transferencia en la selección y adopción de tecnologías alternativas para la recolección, tratamiento, abastecimiento, consumo y disposición final de agua.





## PRECONGRESO VIRTUAL SOBRE SEDIMENTOS Y ECOLOGÍA

Como parte de las actividades previas al III Congreso Iberoamericano sobre Sedimentos y Ecología, el 25 de noviembre se realizó un precongreso virtual en colaboración con la ISI para América Latina y el Caribe (ISI-LAC) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Entre los temas de erosión, sedimentos y ecología, el rol de los glaciares en la generación de sedimentos, aplicaciones de la ecohidrología en la gestión de recursos hídricos y problemática, monitoreo y perspectivas a futuro.

Las actividades surgen de la Iniciativa Internacional de Sedimentos (ISI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura (Unesco) y aborda temas tanto de cantidad como de calidad de sedimentos, tomando en cuenta el cambio global.



## PARTICIPACIÓN EN LA PROPUESTA PARA LEY MODELO DE SISTEMAS COMUNITARIOS DE AGUA Y SANEAMIENTO

Autoridades mexicanas presentaron al Parlamento Latinoamericano y Caribeño (Parlatino) los avances del borrador de la propuesta de Ley Modelo de Sistemas Comunitarios de Agua y Saneamiento, que servirá como base para brindar a los países de la región un marco jurídico y técnico encaminado al logro de los derechos humanos al agua y al saneamiento, particularmente en las comunidades rurales y periurbanas, que permita sumar los esfuerzos de la sociedad y los gobiernos para ampliar la cobertura y la calidad de estos servicios en regiones donde estas son insuficientes.

La propuesta es resultado del esfuerzo conjunto del Frente Parlamentario contra el Hambre, Capítulo México (FPH), la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), a través del IMTA, la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Amexcid), el propio Parlatino y la FAO en el marco del programa Mesoamérica sin Hambre, que, entre otras acciones promueve el diálogo político de alto nivel para impulsar la seguridad alimentaria y el desarrollo rural.



IMTA  
EN ACCIÓN

## MIEMBROS DEL IMTA EN EL SNI

En la convocatoria 2020 del Sistema Nacional de Investigadores, diez miembros del IMTA ascendieron o permanecieron en este grupo de profesionistas.

Enhorabuena por su perseverancia y constancia en su preparación para aportar el conocimiento que permite hacer del agua un elemento de equidad y bienestar para los mexicanos con un enfoque sostenible.





## PERSPECTIVAS

Programas, proyectos y opiniones relacionados con el sector agua y medio ambiente

# Agua

El **22 de marzo** se celebra el **Día Mundial del Agua**, convocado por la **ONU**, bajo el lema:

**VALOREMOS EL AGUA**



POR EL SUBSECRETARIO DE PLANEACIÓN Y POLÍTICA AMBIENTAL DE LA SEMARNAT

*Arturo Argueta Villamar*

Esta misma organización ha lanzado la iniciativa del Decenio del Agua (2018–2028) para reforzar la reflexión sobre la importancia del agua en nuestras vidas. La pandemia de COVID-19 nos ha enseñado (la cruel pedagogía del virus, la llama Boaventura Sousa Santos) que no hay resquicio para la duda: el lavado de manos con agua y jabón es una gran línea de defensa contra el contagio.

El sexto objetivo de desarrollo sostenible propone que haya “Agua y saneamiento para todos en el 2030”, lo cual constituye un enorme reto para cada uno de los países del planeta, dado que una de cada tres personas no tiene acceso al agua potable para lavarse las manos contra el coronavirus y otros muchos agentes de enfermedades infectocontagiosas.

El agua es indispensable para mantener la salud humana, pues es un componente mayoritario (entre 80 y 90 %) de la sangre humana. En cantidades similares, no menores al 70 %, se le encuentra en la piel, los riñones, los pulmones, los músculos y el cerebro. Las autoridades de salud recomiendan no tomar ni poca ni mucha: tomar poca deshidrata y daña los órganos, pero tomar mucha también tiene efectos adversos, por ejemplo, sobre los músculos, al producir un déficit de potasio o al provocar una mala digestión. Una buena cifra se obtiene si multiplicamos nuestro peso corporal por 30 mililitros, cantidad que incluirá no solo agua pura, sino también la que tomamos en caldos, sopas, jugos naturales, verduras y frutas.

Una paradoja de nuestros tiempos es que hidratar y mantener sanos nuestros cuerpos se ha traducido en una enorme enfermedad para el planeta, porque el consumo de agua en botellas de plástico ha propiciado que hoy se les encuentre en caminos, basureros, ríos, presas, costas y mares; formando incluso parte de las enormes islas de plásticos que flotan en los océanos.

Este año, la ONU nos convoca a “valorar el agua”, a meditar sobre su verdadero valor, desde distintas perspectivas y experiencias humanas. La forma y grado en que la valoremos determinará la manera en que la utilicemos y compartamos. Y en este punto es donde se establece una controversia entre quienes consideran el agua como un bien comercial y quienes sostienen que se trata de un bien social, ligado indisolublemente al derecho a la vida.

De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, América del Sur es la región que cuenta con la mayor porción de agua dulce del mundo en la cuenca amazónica y sus grandes afluentes. El dato es de enorme importancia geo- y biopolítica, ya que solamente el 2,5 % del agua es apta para el consumo humano y las actividades productivas, mientras que el 97,5 % restante es salada.

El llamado de la ONU es a que reflexionemos sobre los múltiples significados que tiene el agua para todos los seres humanos. Pensemos en situaciones críticas por su

carencia: deshidratación, pérdida de cobertura vegetal, muerte de plantas y animales, pérdida de biodiversidad, erosión y degradación del suelo y, finalmente, desertificación en sus diversos procesos y grados.

Seguramente la mayoría de ustedes recordarán al pequeño príncipe que se hace presente ante un aviador cuya nave cae en el desierto del Sahara y que le hace preguntas trascendentales y lo acompaña mientras repara su avión en la formidable historia de *El Principito*, de Antoine de Saint Exupéry. Pero quizá no sepan que, en la vida real, Saint Exupéry fue primero piloto de guerra, después piloto civil y nuevamente piloto de guerra durante la Segunda Guerra Mundial. Mientras estuvo desempeñándose como piloto civil, efectivamente cayó su avión en el desierto del Sahara, en la porción del mismo en Libia. Él y su copiloto, André Prévot, salieron ilesos de la caída, pero al hacer inventario de sus recursos, vieron que contaban tan solo con un pequeño racimo de uvas, una naranja, un cuarto de botella de vino blanco y medio litro de café; ningún alimento sólido, ninguna fuente de agua en kilómetros alrededor. Sabían que esas reservas se acabarían en cinco horas de caminata, y que podrían morir por deshidratación en alrededor de 19 horas, según el manual de pilotos que sobrevolaban el Sahara. Caminaron muchos kilómetros, intentaron cosechar agua del rocío, pelearon y lloraron, y conocieron a los zorritos orejones, llamados fenecos, uno de los cuales le pide al principito que lo domestique. Resistieron más de ocho días, pero el final no lo voy a contar...

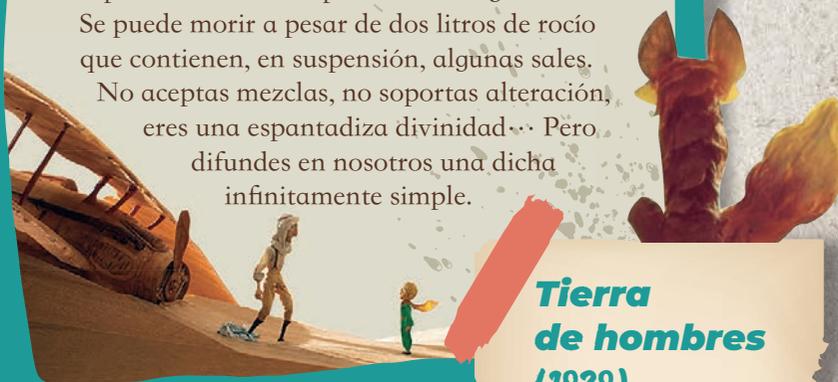
La historia de ese drama la narra en su libro *Tierra de hombres*, publicado cuatro años después de la tragedia y algunos antes de *El Principito* (1943), pero lo más importante para el tema que nos ocupa hoy es el pasaje

de lo que yo llamaría su: oda al agua. Quienes han estado privados del agua, racionados de la misma, al punto de la muerte, pueden enseñarnos mucho sobre cómo revalorar y reapreciar el agua con otros ojos, de otros modos, quizá como aconseja el zorro al principito: “con el corazón, ya que lo esencial es invisible a los ojos”, y por supuesto, con estas otras palabras:

*Agua:* no tienes gusto, ni color, ni aroma, no se te puede definir, se te gusta sin conocerte. No eres necesaria para la vida: eres la vida misma. Nos penetras de un placer que no se explica por los sentidos. Contigo vuelven a nosotros todos los poderes a los que habíamos renunciado. Por tu gracia se abren en nosotros todas las fuentes secas de nuestro corazón.

Eres la mayor riqueza que puede haber en el mundo, y eres también la más delicada, tú, tan pura en el vientre de la tierra. Se puede morir sobre una fuente de agua magnesiada. Se puede morir a dos pasos de un lago salado. Se puede morir a pesar de dos litros de rocío que contienen, en suspensión, algunas sales.

No aceptas mezclas, no soportas alteración, eres una espantadiza divinidad... Pero difundes en nosotros una dicha infinitamente simple.



**Tierra de hombres**  
(1939)

Creo que la expresión “Sin agua no hay bosques, sin bosques no hay vida” es muy valiosa, y como el próximo 21 de marzo es el Día Internacional de los Bosques, vaya con estas palabras un emocionado homenaje al agua y los bosques, así como a todas las personas que dedican sus esfuerzos a esos preciosos legados, eternos inseparables. Y hablando de bosques, en octubre de 2021 llevaremos a cabo el Festival Nacional por el Agua y los Bosques. Por una Cultura del Cuidado de la Vida, al cual estamos haciendo una invitación muy amplia a participar, por parte de los convocantes: la Universidad Nacional Autónoma de México y todo el sector ambiental del Gobierno de México.



# UNO A UNO como Juanita Cortés



**El Acueducto:** ¿Cómo fue que te iniciaste en el camino de la ciencia?

**Juanita:** Mi padre nos leía mucho. Desde que era niña escuché acerca de Luis Pasteur, Marie Curie y personas que hacían ciencia y política, como Robert Hooke, y me enamoré de ellos. Después nos leyó las historias de Beethoven y de Carlos Marx, y también me enamoré, era muy romántica, la inteligencia siempre me ha parecido atractiva.

También tuve una maestra que me inspiró en química, y ahí fue cuando me interesé; hasta recuerdo su nombre, María Eugenia, muy propia y buenísima para explicar cosas complicadas.

Más adelante estudié en la Universidad Nacional Autónoma Metropolitana, campus Xochimilco. Mi formación es como química farmacobióloga.

**El Acueducto:** ¿Cómo llegaste al IMTA?

**Juanita:** Me interesaba mucho la farmacología y el diseño de medicamentos; ese era mi objetivo principal, pero conocí a alguien que me introdujo al área de contaminación del agua y entré a trabajar muy joven al Centro de Investigación y Capacitación de Personal en Materia de Agua en el laboratorio de análisis fisicoquímicos y me encantó.

Terminé la carrera pensando que la conservación del ambiente era lo mío. Hubo cambios, y el centro en el que trabajaba desapareció, así que me incorporé a la Comisión del Plan Nacional Hidráulico que, posteriormente, se transformó en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

**El Acueducto:** ¿Cómo ha sido tu desarrollo en el IMTA?

**Juanita:** Siempre he tenido la oportunidad de trabajar en lo que me gusta, y con mucha libertad, lo cual es fundamental. siempre he pensado que eso es primero.

El mismo Instituto me dio la oportunidad de realizar la maestría en Salud Ambiental en el Instituto Nacional de Salud Pública y después estudios de doctorado en Epidemiología Ambiental.

**El Acueducto:** Háblanos de tus proyectos favoritos.

**Juanita:** Uno de ellos, muy noble, fue el de la instalación y mantenimiento de bebederos en escuelas, y casi podría asegurar que ahora los niños consumen agua de calidad. Aun así, queda la sensación



TOP

10 de grupos  
de rock de Juanita



de que falta mucho por hacer. Al final vas aprendiendo y conjuntas experiencias para integrarlas al siguiente proyecto.

Entre otras actividades, participé en un proyecto en la zona del lago de Chapala, donde estudiamos la relación que existe entre la calidad del agua y la de su pesquería. También he realizado investigación sobre evaluación de programas que tienen que ver con la salud y el ambiente. Mi área siempre ha sido la salud del ambiente y su relación con la salud pública. Soy antropocéntrica, jamás lo he negado.

He trabajado también en el tema de contaminantes emergentes y su relevancia en los esquemas de reúso para agua potable. Colaboré con las personas de aguas residuales, potabilización y calidad del agua en la revisión de fármacos y otros compuestos orgánicos que se pueden encontrar en el agua con el propósito de encontrar la forma de darle un tratamiento que mejore su calidad y pueda destinarse a diferentes usos, incluido el potable. En un futuro no muy lejano encontrar agua de primer uso será complicado.

Al final, sí hay soluciones. Somos ciento veintiséis millones de habitantes en México, y es importante que todos pongamos un granito de arena en la medida que nos toca. Si cada persona, institución y gobierno hacen su parte se puede aliviar muchísimo la contaminación de todo tipo.

**El Acueducto:** Atendiendo tu experiencia en epidemiología y ubicándonos en el contexto actual, dominado por la pandemia que ahora nos aqueja, sabemos que también este virus nos ha enseñado algunas cosas sobre nuestra relación con la salud del planeta. ¿Qué nos puedes compartir al respecto?

**Juanita:** Los coronavirus, como familia, existen desde siempre, lo que pasa ahora es que sufrieron una mutación que no conocemos exactamente, por lo que el desarrollo de una vacuna ha sido muy complicado. Por ejemplo, para el cólera jamás se encontró una vacuna realmente confiable, porque el virus que lo causa tiene una memoria muy pequeña.

Una de las experiencias que me dejó mucho, tanto en lo personal como en lo profesional, fue haber trabajado en el tema del cólera. Esta enfermedad nos dio muchas lecciones que, desgraciadamente, ya se nos olvidaron, como son la adopción estricta de medidas básicas de

higiene, relacionadas con la calidad y cantidad de agua disponible.

Ahora sabemos que el cólera es un patógeno reemergente, es decir, estaba controlado, pero resurgió con características similares. También sucede que se presentan brotes de otros patógenos, como los emergentes, que no conocíamos, como es el caso del virus SARS-CoV-2, causante de COVID-19.

**El Acueducto:** ¿Ahora qué sigue para ti?

**Juanita:** Por ahora trabajo en el proyecto del Atlas de calidad del agua, a cargo del Laboratorio de Calidad del Agua.

**El Acueducto:** Por ahí nos contaron que te gusta la música, pláticanos de esa faceta tuya.

**Juanita:** Ah sí, soy melómana. Me encanta la música, el rock, sobre todo el progresivo, y la música clásica. Mi grupo favorito es King Crimson y adoro a Frank Zappa, el tipo era un visionario, súper crítico, no siempre sencillo.

**El Acueducto:** ¿Quisieras comentar algo más a nuestros lectores?

**Juanita:** He pasado más de la mitad de mi vida en el Instituto, al que considero como mi otra casa. Quiero mucho a la institución y a las personas que aquí he conocido y que son muy importantes para mí. Me quedo con muchas cosas muy buenas de todos, de muchos compañeros de muchos años.

Hay otros a los que no he tenido la oportunidad de conocer, pero me encantaría. Y, por último, insistirles que lo primordial es que te guste lo que haces, que no lo hagas por obligación, porque si no es muy difícil sobrellevar las circunstancias. Sigamos trabajando en este tema tan importante como el agua, para conservarla y cuidarla.

Es importante saber lo que tú puedes aportar para prevenir, más que corregir, y mantener limpio, más que limpiar el medio ambiente. Soy antropocéntrica porque, nos guste o no, todo gira alrededor del ser humano y, por lo tanto, el fin del trabajo que realizamos es buscar el equilibrio entre los diversos factores que intervienen en nuestro entorno: si lo cuidamos nos cuidamos también.

# Eventos

18/09/20

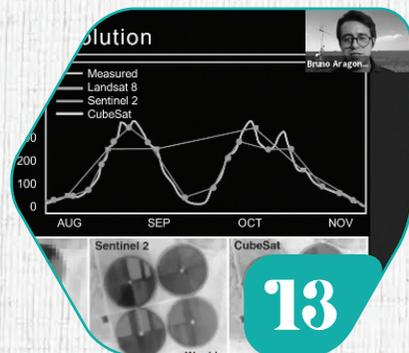
*Isótopos Estables de la Lluvia en México y su Aplicación en Hidrología Subterránea*

Miguel Ángel Mejía González  
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Luis González Hita - Instituto Mexicano de Tecnología del Agua



01



13

*Estimación de Evapotranspiración en Alta Resolución Espaciotemporal*

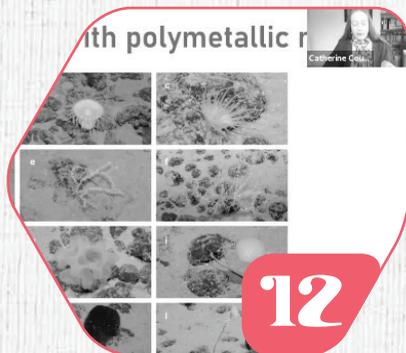
Bruno Aragón - Candidato a Doctor - KAUST, Arabia Saudita.

03/12/20

25/09/20

*Espacio de Conocimiento en Línea "Remoción de compuestos emergentes en aguas residuales"*

Dra. Petia Mijaylova Nacheva  
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
**Seminario Pequeñas Centrales Hidroeléctricas**



*Understanding Global Calls for Moratorium on Deep Seabed Mining: Environmental, Climate Change and Governance Considerations.*

*Peticiones Globales de una Moratoria a la Minería Submarina Profunda: Consideraciones Ambientales, de Cambio Climático y de Gobernanza*

Dra. Catherine Coumans - Coordinadora de investigación y Coordinadora del Programa Asia-Pacífico en MiningWatch, Canadá.

27/11/20

02/10/20

*Espacio de Conocimiento en Línea "Avances en la comprensión y mitigación ante tsunamis. Chile 2010-2020"*

Dr. Patricio Catalán, Universidad Federico Santa María, Chile.



*Primer Foro Virtual de Agua y Minería en México: Desafíos para una Gestión Integrada de Agua y Territorio*

19/11/20

09/10/20

**Espacio de Conocimiento en Línea  
"Hidrometeorología de las inundaciones súbitas en cuencas urbanas"**

Dra. Iskra Mejía Estrada  
- Universidad de Bristol



COMUNIDAD  
EN MOVIMIENTO

23/10/20

**Espacio de Conocimiento en Línea  
"Sobre el estudio de los procesos físicos de la costa a diferentes escalas espacio-temporales"**

Dr. Alec Torres Freyermuth  
- Investigador Titular en la Unidad Académica Sisal del Instituto de Ingeniería de la UNAM

16/10/20

**Creación de una red de cooperación de organismos operadores**

Luciano Sandoval Yoval - Instituto Mexicano de Tecnología de Agua

Manuel Antonio Osorio López  
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento Puebla

20/10/20

**Coloquio de Derechos Humanos y Arreglos Institucionales**

- Surgen como seguimiento a los objetivos del milenio sus metas están planteadas al 2030
- Cerca de 1.8 billones de personas en el mundo toman agua contaminada por coliformes fecales
- Alrededor de 2.4 billones de personas carecen de servicios básicos de saneamiento (baños o letrinas)
- Más del 80% del agua residual generada por la actividad humana es descargada a ríos y mares sin ningún tipo de tratamiento



04



05



06



10



07

- os, programas y servicios que puedan estar al en la mayor medida posible, sin necesidad de
- cas para grupos particulares de personas con cesiten.
- al manera a todo el universo de la diversidad.
- 4. Información perceptible
- 5. Tolerancia al error
- 6. Mínimo esfuerzo físico
- 7. adecuado tamaño de ap

09



08

**Calentamiento Global y sus Impactos en los Ciclones Tropicales**

Christian Appendini  
- Coordinador de la Unidad Académica Sisal del IIUNAM

**Cómo Acercar la Ciencia a Todos: Retos para una Divulgación Accesible**

Beatriz del Carmen Pérez Salgado,  
Departamento de Educación Especial del Instituto de la Educación Básica del Estado de Morelos

13/11/20

Gemma Millán Malo, Subcoordinación de Participación Social del IMTA

06/11/20

**Semana de la Transparencia Hídrica**

26-30/10/20



EFEMÉRIDES

# DÍA MUNDIAL *de los* Humedales



**E**l Día Mundial de los Humedales se celebra el 2 de febrero para concienciar a la opinión pública acerca de la importancia que tienen estos ecosistemas de gran diversidad biológica en nuestro entorno natural y, por ende, en la calidad de vida y desarrollo comunitario. Este día, en 1971, se instituyó para conmemorar la realización de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, mejor conocida como el Convenio de Ramsar, en honor a la ciudad iraquí del mismo nombre.

La finalidad del Convenio es alentar en todo el mundo la conservación y el uso racional de los humedales. Este documento cuenta a la fecha con 171 países firmantes, entre ellos México, que lo suscribió ante la Unesco el 23 de julio de 1985.

Entre otros beneficios, los humedales intervienen en forma notable en la regulación del ciclo del agua y del clima, en el control de

inundaciones y sequías, y como refugio de vida silvestre, además de incrementar la disposición de recursos hídricos para abastecimiento tanto de agua dulce como de áreas naturales propias para el turismo y la pesca, principalmente.

Se consideran humedales, entre otras áreas naturales, a los arrecifes de coral, ojos de agua, pastizales húmedos, pantanos, marismas, lagos, ríos, estuarios, deltas, turberas, además de sitios artificiales como embalses, salinas, estanques piscícolas y arrozales.

De acuerdo con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México tiene registrados 142 humedales de importancia internacional o sitios Ramsar: **islas Marietas, Nayarit; reserva Ría Lagartos, Yucatán; pantanos de Centla, Tabasco; Cuatrociénegas, Coahuila; lagunas de Montebello, Chiapas; Xochimilco, Ciudad de México, y lago de Pátzcuaro, Michoacán,** entre otros.

# SOSTENIBLE SUSTENTABLE?

Por Emilio García Díaz

## RESPUESTA CORTA

Para todo fin práctico se consideran actualmente palabras sinónimas y no tiene ningún sentido distinguir entre las dos, como algunos pretenden. A juzgar por los resultados en búsquedas en internet de estos dos vocablos, y expresiones derivadas, el de mayor frecuencia de uso es 'sostenible' (ver tabla). Sin embargo, es esencial reconocer que ambos grupos de expresiones se emplean mayoritariamente con el mismo significado. Su uso indistinto es, pues, cuestión de preferencia, aunque es recomendable que en un texto dado se opte por una y no se utilicen las dos variantes en el mismo escrito.

### PALABRA O EXPRESIÓN

### NÚMERO DE RESULTADOS

Sostenible	108,000,00
Sustentable	34,200,000
Sostenibilidad	169,000,000
Sustentabilidad	14,100,000
Desarrollo sostenible	31,700,000
Desarrollo sustentable	6,670,000
Sostenibilidad de los recursos hídricos	435,000
Sustentabilidad de los recursos hídricos	170,000
Objetivos de desarrollo sostenible	23,700,000
Objetivos de desarrollo sustentable	3,120,000

Tabla comparativa de *hits* que arroja el buscador Google para sostenible y sustentable y sus derivados, respectivamente, al 7 de julio de 2020.



## RESPUESTA LARGA

La Fundación del Español Urgente (Fundéu)[1] señala que “para referirse al modelo de desarrollo consciente de la necesidad de no agotar los recursos, son válidos los adjetivos ‘sustentable’ y ‘sostenible’. El adjetivo ‘sustentable’ se incluye en la vigesimotercera edición del diccionario académico [el DRAE[2]] solo con el significado de ‘que se puede sustentar o defender con razones’, pero no con el de ‘que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente’, sentido este último de amplio uso sobre todo en el español americano y que coincide con la definición de ‘sostenible’ de esta misma obra.”[3]

Ahora bien, existen algunos autores que pretenden hacer una distinción, como Plinio Zarta Ávila, quien afirma que “...si bien tienen aristas comunes, lo sustentable hace relación a la armonía existente entre lo económico, lo social, lo ambiental con el sistema de valores, en tanto que lo sostenible considera cada uno de dichos subsistemas por separado” [4]. Tal afirmación carece de sustento etimológico y semántico y pretende adjudicar un significado que no tienen inherentemente dichas palabras.

Por su parte, Enrique Leff alude a la ‘razón’ de la definición del DRAE y, en su libro *Racionalidad ambiental*, sostiene que “...la racionalidad de la sustentabilidad abre la posibilidad de construir un nuevo paradigma productivo...” y que “... los principios de la racionalidad ambiental definen un concepto de productividad sustentable”.

Algunos otros autores discuten sobre cuál de las dos voces que nos ocupan parece ser la más adecuada.

Sin embargo, los lingüistas [5] nos dicen que el origen de ambas es el mismo: el verbo latino *sustinĕre*, que derivó en ‘sostener’ en español. *Sus-tentāre*, de donde viene ‘sustentar’, no es más que el modo intensivo, llamado también frecuentativo o iterativo [6], de *sustinĕre*, el cual se descompone en sus (desde abajo) y *tinere* (tener), con el significado de ‘asir desde abajo’. Sustentar, como verbo intensivo, significa sostener algo para que no se caiga o tuerza. Con el tiempo, este último verbo adquirió el sentido figurado de “sostener” un argumento con razones para que este no se “caiga” o tergiversar.

Pero, ¿cómo fue que tanto ‘sostenible’ como ‘sustentable’ adquirieron la acepción, en los ámbitos de la ecología y la economía, de algo que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente?

No fue sino hasta principios de los 80 que el concepto de sostenible/sustentable (originalmente en inglés: *sustainable*) se empezó a utilizar ampliamente entre grupos y ONG ambientalistas y, en 1987, se plasmó en el documento *Nuestro futuro común (Our Common Future)* [7]. Los traductores oficiales de este igualmente llamado *Informe Brundtland (IB)* eligieron la palabra ‘duradero’ en español y durable en francés (término que aún se emplea en esa lengua). Posteriormente se optó con mayor frecuencia por usar en español ‘sostenible’, traducción literal del vocablo original inglés.

Poco a poco fue apareciendo también ‘sustentable’ por parecerse más, morfológicamente, a *sustainable*. Finalmente, dado que en 1992 se celebró la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, Brasil, donde cobró más auge el ya referido IB y se discutió en torno al “desarrollo sostenible”, en el país anfitrión se comenzó a hablar y escribir sobre el *desenvolvimento sustentável*. Nuevamente, por la mayor proximidad léxica con este término portugués, se comenzó a utilizar con mayor frecuencia el adjetivo ‘sustentable’, sobre todo en el ámbito periodístico, y duradero quedó relegado por completo. De ahí en adelante, los dos términos en cuestión se emplean bien como sinónimos o como preferente el uno del otro con un matiz extralingüístico, dependiendo de las tendencias ideológicas, intereses o concepciones particulares de quien los utiliza.

Cabe señalar que en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en las reformas más recientes, la palabra ‘sustentable’ aparece en cinco ocasiones en referencia al desarrollo; una al aprovechamiento de la energía, y una al uso de los recursos hídricos, mientras que ‘sostenible’ aparece una vez en el contexto del manejo de las finanzas públicas. Este hecho puede ser para algunos un criterio de elección válido, sobre todo en documentos oficiales.

Por otra parte, al hablar de los Objetivos de Desarrollo Sostenible es preferible mantener este término, ya que es el que quedó plasmado oficialmente en este programa de la ONU.

Por lo demás, mientras se atiendan los principios de congruencia, coherencia y homogeneidad, se puede emplear cualquiera de las dos variantes sin incurrir en un error lingüístico o semántico.

[1] Institución que impulsa el buen uso del español, asesorada por la Real Academia Española y presidida por el director de la misma.

[2] Diccionario de la Real Academia Española

[3] <https://www.fundeu.es/recomendacion/desarrollo-sustentable-expression-correcta-93/>

[4] <https://www.redalyc.org/jatsRepo/396/396/56104017/html/index.html#fn3>

[5] Guido Gómez de Silva, por ejemplo, en su Breve diccionario etimológico de la lengua española

[6] Verbo frecuentativo o iterativo: expresa una forma reiterada, intensiva o exagerada de una acción, alterando un poco su significado con una connotación ligeramente diferente, a veces despectiva. Por ejemplo: besuquear, de besar; pisotear, de pisar; golpear, de golpear, etc.

[7] [http://www.ecominguam.com/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE\\_LECTURE\\_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf](http://www.ecominguam.com/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf)





# Cruciagua

Las aguas residuales urbanas e industriales que llegan a las plantas de tratamiento pueden contener, entre otros, estos contaminantes. Encuéntralos y elimínalos trazándolos con una línea. Pueden estar en forma vertical, horizontal o diagonal y al derecho o al revés.



## ¡Busca las palabras!

- |               |                 |
|---------------|-----------------|
| aceites       | heces           |
| agroquímicos  | hongos          |
| bacterias     | insecticidas    |
| detergentes   | metales         |
| disolventes   | microorganismos |
| fármacos      | microplásticos  |
| fertilizantes | nitratos        |
| fosfatos      | pesticidas      |
| grasas        | virus           |

a l k s m f o s f a t o s t p d s s h s o f  
m c u o s i n i t r a t o s e i o e o e b s  
m g e m k a c n l e t i q v s s c c n h t v  
b a c s t d d r x s u p c e t o i e g f u d  
p l e i i x n i o v u s s q i l m h o s v l  
c z h n o o j d c p i r p t c v i u s f q s  
o u q a n r g a a i l r i z i e u h s o q a  
r p r g h a r g r a t a i v d n q f o f x t  
s e l r m e t a l e s c s s a t o i c i n i  
r c e o a c e i t e s g e t s e r b a t j m  
m q n o s a i r e t c a b s i s g a m r q t  
u z s r k p g r a s a s m s n c a y r a n z  
r t p c s e t n e g r e t e d i o v a t a o  
s i b i f e r t i l i z a n t e s s f o m s  
d f a m l z f m u s z v f p h g d f g s p r

## Solución

## del Cruciagua

anterior:

1. disposición
2. saneamiento
3. consumo
4. doméstico
5. suficiente
6. asequible
7. modalidades
8. equitativo
9. sustentable
10. municipios
11. ciudadanía
12. consecución



# Voces del AGUA

Por Emilio García Díez

## ¿QUÉ TIENEN EN COMÚN UN RÍO LA ANTIGUA MESOPOTAMIA, LOS HIPOPÓTAMOS Y UN SIMPOSIO? SOBRE POTABILIZACIÓN

Los griegos tenían cierto sentido del humor al crear palabras aglutinando diferentes elementos semánticos. Después, los latinos importaban algunas de ellas por carecer de estas en su lengua o por parecerles más interesantes. Tal es el caso de una serie de vocablos que surgieron de la voz griega ποταμός (*pótamos*), que significa río.

Los griegos unieron esa palabra a ἵππος (*hyppos*): ‘caballo’, para formar ἵπποπόταμο (*hippopótamo*), literalmente ‘caballo de río’. Los latinos no contaban con una palabra para designar a tal bestia exótica, y a pesar de que tenían *rivus* y *flumen*, para río, y *equus*, para caballo (pudiendo haber traducido a algo así como *equus flumine*), prefirieron adoptar el helenismo, que seguramente les pareció más gracioso e interesante, latinizándolo como *hippopotamus*.

Igualmente, adaptaron *Mesopotamiā*, del griego μέσος (*mesos*): ‘en medio de’ y ποταμός (*pótamos*), para designar el territorio en medio de los ríos Tigris y Éufrates. Pero ahí no quedó todo, *pótamos* siguió dando derivaciones en latín. Si bien los romanos tenían el verbo *bibere*: ‘beber’, usaban a la par el calco helénico *potare*, del cual desciende el verbo español ‘potar’, sinónimo poco usado de ‘beber’. De ahí, el agua que era segura para beber se llamaba *aqua potabilis*, de *potare* + *abilis*: ‘que se puede’. Mucho después, el español se valió del latín para formar el adjetivo ‘potable’ y, más recientemente, el verbo potabilizar y el sustantivo ‘potabilización’, que es el proceso, mediante distintas técnicas de eliminación de patógenos y otros contaminantes, que permite que el agua pueda ser bebida por el ser humano sin que se presente un riesgo para su salud.

Otro derivado fue *potion/potionis*, de donde surge *poción*, que leyendas y cuentos aparte, era solamente un líquido bebible, pero en especial designaba infusiones, tisanas, libaciones y bebidas fermentadas. Esto nos lleva a ‘simposio’, del griego συμπόσιον (*sympósiōn*), de συμ (*sym*): ‘con’, y πόσις (*pósis*): ‘poción/bebida, adaptado al latín como *symposium*. Un simposio, originalmente, no era más que un festín o banquete al que acudían los varones griegos acomodados para divertirse, beber y filosofar.

La bebida era sumamente importante en este tipo de reuniones (de ahí el nombre del evento), y consistía en una poción preparada generalmente con vino, cebada, hierbas aromáticas, miel y un hongo enteógeno. Esta poción psicoactiva, por ser demasiado fuerte, no podía beberse sola, así que su ingesta se realizaba en un contexto ritual, estrictamente controlada por un simposiarca (el “rey” del banquete), designado para mezclarla con agua en diferentes proporciones según el desarrollo de la velada y el estado tóxico de los simposiastas. El ejemplo histórico más famoso es el simposio convocado por el poeta trágico Agatón, reproducido en el famoso diálogo de Platón conocido como “El Banquete”, titulado originalmente *Sympósiōn*. Muchos de esos festines lúdico-etílicos acababan en largas e interesantes conversaciones entre los presentes sobre temas de política, filosofía, ética, economía, etc., por lo que este término adquirió con el tiempo el significado que actualmente tiene... aunque quizá deberíamos seguir el ejemplo de los griegos para que los simposios modernos sean más atractivos e interesantes.



Simposio de Platón. (Óleo de Anselm Feuerbach. Galería Nacional de Arte de Karlsruhe, Alemania).



## Cuentos y leyendas del agua

# EL SEÑOR DE LA LLUVIA ME BUSCA

Leyenda indígena. Adaptación libre  
de Mónica Paulina Gutiérrez Jiménez

**U**n joven campesino por fin había alcanzado la edad en la que las costumbres de su pueblo le dictaban que buscara una mujer adecuada para casarse.

Un día, mientras paseaba por la plaza, se dibujó en su rostro una gran sonrisa y su corazón se llenó de emoción. Estaba seguro de que había encontrado a la mujer que buscaba, porque ante sus ojos apareció la joven más hermosa que jamás había visto. Tenía el cabello largo, ojos grandes y una sonrisa inocente y gentil. Deseaba hablarle y confesarle el sentimiento que le provocaba, pero la costumbre decía que primero debía hablar con los padres de la doncella. Así que se armó de valor, fue a la casa donde ella vivía, saludó a los padres y les dijo: —la razón de mi visita es decirles me quiero casar con una de sus hijas. Ellos se quedaron en silencio, se miraron a los ojos y le dijeron que debían pensarlo, que volviera otro día. Antes de irse, el joven les dio las gracias y se fue a su casa a pensar en su amada. Transcurrido un par de días volvió, pero no encontró la respuesta que esperaba. —Mire joven, lo hemos platicado y creemos que no es conveniente que usted se case con una de nuestras hijas —le dijeron sin dar más explicaciones. El joven se despidió y se fue triste y cabizbajo. Mientras caminaba de regreso a casa pensó y se dijo: —¡Ya sé lo que pasó! Me vieron muy joven y creyeron que estaba jugando, pero para que vean que hablo en serio le diré a mis padres que me acompañen. Llegó a su casa y platicó lo que había pasado. Sus padres, felices y orgullosos, accedieron a acompañarlo. Una tarde llegaron a la casa de la muchacha. Los tres

iban bien vestidos, emocionados y decididos a no aceptar un no por respuesta. Esta vez no permitieron que los jóvenes estuvieran presentes, y a pesar de que conversaron un buen rato, la respuesta fue la misma. La familia del joven salió muy enojada y ofendida, tanto que decidieron visitar a un brujo nahual que tenía el don de conversar con las entidades de la naturaleza. —Queremos que castigues a esa familia, pues nuestro hijo se quiso casar con una de sus hijas y ellos no se la quisieron dar, te pedimos que les hagas algún hechizo.

El nahual, sabio y misterioso, les contestó: —Pueden irse. Contactaré con el cielo, los truenos y los rayos, y para cuando lleguen a su casa, el trabajo estará hecho. Esa misma tarde, la hermosa joven estaba en el manantial recogiendo agua en un cántaro, cuando de repente escuchó que una fuerte tormenta se dirigía hacia ella. Las nubes se os

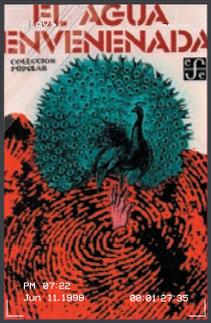




curecieron y, antes de ver relámpago alguno, fue atrapada por un remolino de lluvia que la hizo desaparecer. La buscaron días enteros. Los padres preguntaron a todos en el pueblo si alguien la había visto, pero nadie dio razón de ella. Después de la fuerte tormenta, la joven despertó en un extraño y frío lugar. Era una gran cueva blanca con enormes rocas rodeadas de charcos de agua dulce y cristalina. Cuando se disponía a averiguar en dónde se encontraba, escuchó un fuerte tronido, como si algunas de esas rocas hubieran chocado. —Niña —dijo un hombre grande y misterioso— ¿sabes por qué estás aquí? Ella no respondió. —Escucha bien lo que vas a hacer —dijo con un tono autoritario— En esos recipientes de roca que están por allá encontrarás tomates, frijoles, chiles y maíz y todo lo necesario para que me hagas de comer. Me iré a trabajar, más te vale que cuando regrese esté lista la comida, no se te olvide, quiero grandes tortillas, ¿me oíste? El enorme hombre se preparó para partir, pero antes de marcharse tomó de las rocas extraños objetos que guardó en su morral. Cuando la joven comenzó a cocinar, creyó escuchar voces en el interior de unos recipientes. Sintió curiosidad por saber quién era, así que escaló hasta el contenedor más grande y con gran esfuerzo movió las enormes losas que servían como tapa. Sorprendida, observó que de uno brotaban nubes. Notó que en otros había agua o bolitas de granizo, pero al abrir la de los truenos y relámpagos, éstos salieron huyendo. Fue entonces que el hombre, quien en realidad era el señor de la lluvia, se dio cuenta de la tormenta que escapaba de su casa. La joven se asustó cuando vio que el agua se desbordaba. Intentó detenerla, pero esta no dejaba de salir de la cueva. Se arrepintió de no haber hecho lo que

se le había ordenado, pues cuando llegó a la puerta, vio desde las alturas cómo se destruía su pueblo, donde muchos murieron. Aún empapada en lágrimas, volvió a escuchar la suave voz del viento que le susurraba que se escaparan juntos, porque el señor de la lluvia la castigaría a su regreso. Con preocupación, la joven destapó la roca y liberó al viento, que de inmediato la abrazó, la consoló y se la llevó volando por los cielos.

*Se dice que ese día el viento la puso a salvo y le advirtió que no malgastara el agua, pues esta podría volar a las nubes y decirle al señor de la lluvia dónde estaba su escondite.*



de Fernando Benítez,  
Fondo de Cultura  
Económica,  
1961, 182 pp.

Un sacerdote, un cacique y un pueblo, desde siempre, frustrado y copado. La idiosincrasia del pueblo y un rumor “el agua está envenenada” hacen estallar la violencia que provocan el intento de linchamiento del cacique “Ulises Roca” por los habitantes del pueblo que vivían en Tajimaroa.

Esta novela, inspirada en un hecho real, sucedido en Michoacán en el año de 1959, es aplicable en el México del siglo XXI. La sola idea del agua envenenada es la gota que derrama el vaso y provoca la rebelión de un pueblo explotado, que soportaba el abuso y corrupción de sus auto-

ridades. Sólo han pasado 61 años desde dicho suceso, pero muchos de los aspectos que lo provocaron aún subsisten, ¿acaso es exagerado pensar que el agua es un detonador de conflictos sociales?

Como lo indica la propia editorial: Fernando Benítez hace un relato que “la violencia conducida hasta sus últimos extremos ha sido captada con procedimientos literarios que hacen de este libro un testimonio a la vez que una obra maestra de la literatura”.

Carl Servín, de la Subcoordinación de Hidráulica nos recomienda:

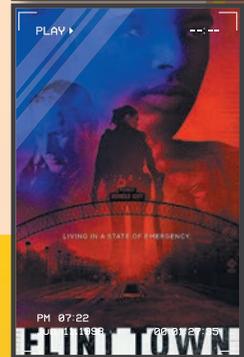
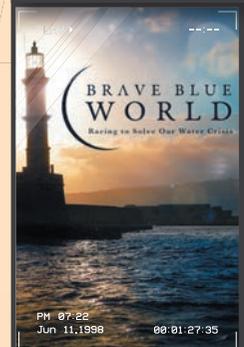
## PELÍCULAS Y SERIES

La contaminación del agua es también preocupación de grandes cineastas. Entretenete y aprende con estas excelentes propuestas disponibles en Netflix:

Inspirada en hechos reales, narrados inicialmente en un artículo publicado en The New York Times en 2016, esta película cuenta la historia de cómo un abogado investiga varias muertes inexplicables en Virginia Occidental y descubre que estas están ligadas al ácido perfluorooctanoico (APFOA), empleado en la fabricación de teflón para sartenes antiadherentes. Cientos de galones de lodo tóxico habían sido arrojados a un río por la compañía productora. La historia se convierte en noticia nacional, lo cual da origen a una revisión científica independiente que confirma la toxicidad del APFOA. El abogado no descansará hasta ver que se haga justicia a todas las víctimas de este irresponsable acto de contaminación. Mark Ruffalo y Anne Hathaway estelanzan este drama que no puedes dejar de ver.

Documental que explora nuevas tecnologías que tienen el potencial de resolver la crisis mundial del agua. En él se destacan avances científicos y tecnológicos que se han estado dando, a menudo fuera de los reflectores, para que la población mundial tenga acceso a agua limpia y a servicios de saneamiento y se proteja el medio ambiente. Narrado por Liam Neeson, cuenta con la participación de destacados científicos, ingenieros y activistas de todo el mundo, incluido Matt Damon, cofundador de la ONG Water.org, así como Jaden Smith, cofundadora de 501CThree, organización sin fines de lucro que provee de sistemas de filtración a comunidades en Flint, Michigan, EUA.

En 2016, el poblado de Flint, Michigan, EUA, llamó la atención del mundo entero al descubrirse niveles alarmantes de plomo en su red de suministro de agua por la falta de anticorrosivos en las tuberías, envenenando a la población con este metal. Además, por falta de una adecuada cloración se propician enfermedades graves, tales como la legionelosis. Esta docuserie revela que las causas fueron negligencia, corrupción y conspiración. A causa de ello, en plena campaña electoral por la presidencia y autoridades locales, se desatan olas de violencia e ingobernabilidad por falta de confianza en los políticos. Un cuerpo de policía disminuido y con poco presupuesto resulta insuficiente para combatirlos y proteger a la ciudad.





*El Acueducto*



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



**IMTA**  
INSTITUTO MEXICANO  
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA