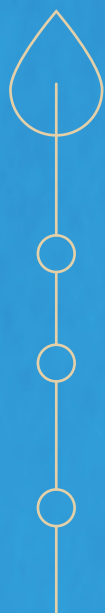




El Acueducto

Gaceta del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
5ª época, número 13, enero-marzo, 2023.



NUEVA ESTRUCTURA **DEL IMTA**

Agua de laboreo minero

Riesgos hídricos
e inversiones en México

Comunicación con las
comunidades en torno
a la calidad del agua



MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



IMTA

INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

Contenido

Presentación	3
Agua de laboreo minero	4
Riesgos hídricos e inversiones en México	6
Comunicación con las comunidades en torno a la calidad del agua	8
Dictamen de impactos ambientales de la empresa Calica	10
SIG Agua y Minería	12
Riesgos climáticos y medioambientales	14
Remoción de arsénico, hierro y manganeso del agua para consumo humano	16
Nueva estructura del IMTA	18
Voces del agua	26
El redactor	28
Tiempo libre	30
Cruciagua	31



Directorio

Director General: Adrián Pedrozo Acuña. **Coordinador de Seguridad Hídrica:** Agustín Breña Naranjo. **Coordinador de Sistemas Hídricos:** Juan Pablo Rodríguez Rincón. **Coordinadora de Calidad y Ecología del Agua:** Norma Ramírez Salinas. **Coordinador de Gobernanza del Agua y Fortalecimiento de Capacidades:** Alberto Rojas Rueda. **Titular de la unidad de Vinculación y Asuntos Internacionales:** Malinali Domínguez Mares. **Titular de la unidad de Administración y Finanzas:** José de Jesús Aguirre Bautista. **Titular 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 13, enero-marzo, 2023.

Publicación trimestral, de distribución interna, editada por la Coordinación de Gobernanza del Agua y Fortalecimiento de Capacidades; Subcoordinación de Comunicación, Divulgación y Cultura del Agua.

Editor: Marco Antonio Sánchez Izquierdo. **Jefe de redacción:** Emilio García Díaz. **Apoyo secretarial:** Verónica Jacobo Blancas. **Investigación y redacción:** Emilio García Díaz, Jesús Hernández Sánchez, Mónica Paulina Gutiérrez Jiménez, Marina Ruiz Rodríguez, Indira Franco Salazar. **Cuidado de edición:** Emilio García Díaz y Jesús Hernández Sánchez. **Fotografía:** Mónica Paulina Gutiérrez Jiménez. **Diseño gráfico y formación:** Adolfo Remigio Armillas y Ana Lilia Torres García. **Diseño del logotipo:** Valeria Richter Soriano y Paola Olmedo Lara. **Portada:** Adolfo Remigio Armillas. **Versión digital:** Claudia Martínez Salgado. **Distribución:** Josefa Figueroa Miranda y Luis Aviles Rios. **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.

Nuestra portada: El agua sólida por Adolfo Remigio Armillas.



Presentación

El IMTA inicia el 2023 con una nueva organización, propuesta hace más de tres años, sustentada en los principios de gestión del agua impulsados por el gobierno federal, que abordan su problemática desde los puntos de vista tecnológico, cultural y ético, propios de nuestro país y que, a la vez, dan sentido a la misión del IMTA: generar, transferir y difundir conocimiento, tecnología e innovación como soporte para el manejo integrado, equitativo y sustentable del agua en México.

Para cumplir con los principios antes mencionados, cuatro nuevas coordinaciones recogen el trabajo realizado por el Instituto durante casi cuatro décadas, al tiempo que abordan los temas fundamentales del quehacer hídrico nacional, desde diversas perspectivas contemporáneas, con el compromiso de seguir un rumbo acorde a las realidades actuales de nuestro país.

El presente número de *El Acueducto* incluye una sección que proporciona un acercamiento a nuestra nueva organización, con la explicación de las funciones asignadas a cada una de las coordinaciones que la componen, de la mano y la palabra de quienes las dirigen, respectivamente: Dr. Agustín Breña Naranjo, coordinador de Seguridad Hídrica; Dr. Juan Pablo Rodríguez Rincón, coordinador de Sistemas Hídricos; Mtra. Norma Ramírez Salinas, coordinadora de Calidad y Ecología del Agua, Dr. Alberto Rojas Rueda, coordinador de Gobernanza del Agua y Fortalecimiento de Capacidades.

Por otro lado, incluimos nuestras secciones habituales con temas relevantes, como el mapeo de riesgos hídricos que plasma en imágenes la crisis nacional que en este momento amenaza a México y se establece como una herramienta de planeación hídrica para la industria, basada en la sostenibilidad; también muestra la impor-

tante labor que el IMTA realiza en relación al papel que juega el agua en la minería al desarrollar, con el apoyo de Oxfam (confederación internacional formada por 19 organizaciones no gubernamentales que realizan labores humanitarias en 90 países, cuyo lema es "trabajar con otros para combatir la pobreza y el sufrimiento"), el Sistema de Información Geográfica Agua y Minería, así como las investigaciones llevadas a cabo en relación con el agua subterránea que aflora con la actividad minera y que se le conoce como agua de laboreo.

Otro de los temas abordados en este número es el *Dicamen de impactos ambientales derivados del proyecto de extracción industrial de roca caliza a cargo de la empresa Calica (hoy SAC-TUN) en los municipios de Solidaridad y Cozumel, Quintana Roo* realizado por el sector ambiental federal, con la notable participación del IMTA, para que la Semarnat emprendiera una acción colectiva con el fin de exigir a la empresa norteamericana Calica la restauración del daño ambiental causado durante 36 años, así como el cierre definitivo de sus operaciones.

No pueden faltar en este número los contenidos sobre potabilización del agua, como el artículo que describe la importancia de la comunicación con las comunidades en el muestreo de la calidad del agua, o la reseña de una de nuestras últimas publicaciones: *Diseño funcional de sistemas de filtración directa a presión para remover arsénico o hierro y manganeso de agua para uso y consumo humano*.

Invitamos a todos nuestros compañeros a disfrutar de este número 13, que recopila no solo el trabajo de una parte de nuestro quehacer, sino que refleja la importancia de la nueva visión de la política nacional en torno al agua.

Adrián Pedrozo Acuña
Director general

Agua de laboreo minero

Por Agustín Breña Naranjo, con la colaboración de Mónica Paulina Gutiérrez Jiménez

En México, la industria minera es uno de los principales usuarios de agua, lo que ha generado preocupación por el impacto en su disponibilidad, especialmente en regiones donde hay escasez hídrica.

¿Qué es el agua de laboreo minero?

Es agua subterránea que aflora como resultado de la actividad minera. Cuando las empresas mineras llevan a cabo actividades de exploración, suelen encontrar mucha agua subterránea en las zonas montañosas o en regiones donde los acuíferos y sus niveles son relativamente poco profundos. Para extraer de manera eficiente el material, se tiene que extraer también toda el agua y deshacerse de ella. Esta es el agua de laboreo, que la mayor parte del tiempo se aprovecha en la fase de construcción y operación del proyecto.

Aunque el agua de laboreo no está regulada por ninguna ley, su importancia radica en que una gran parte de la industria minera en México se encuentra en zonas con escasez hídrica severa.

Al tomar agua limpia de los acuíferos que podría ser para uso público urbano y verterla en otro lugar, se modifican hidrológicamente los acuíferos y se desperdicia este valioso elemento.

El IMTA estima que las aguas de laboreo podrían ser 2.5 mayores al volumen inicialmente concesionado a una minera, lo que significa que las mineras están utilizando más agua de la que en un inicio se les había permitido.





Aportaciones del IMTA

Para abordar este problema hemos propuesto la creación de leyes que obliguen a las mineras a medir su consumo de agua real, incorporar el uso de agua de laboreo en la Ley Minera y la Ley de Aguas Nacionales, y crear el Sistema de Información Geográfica de Agua y Minería, con el objetivo de generar estadísticas más confiables para la medición y seguimiento de estos temas.

Además, se han emitido sugerencias para hacer modificaciones tanto a la Ley de Aguas Nacionales como a la Ley Minera y la Ley General de Equilibrio Ecológico, que deben pasar por el congreso. Estas propuestas buscan regular el uso de agua en la minería y evitar su sobreexplotación, especialmente en regiones con escasez hídrica.

El reto para la minería del siglo XXI es reducir emisiones de efecto invernadero y carbono, además de comprometerse en temas referentes al agua. Es necesario empezar con la divulgación de las prácticas en el sector minero: ¿cuánta agua están utilizando y reciclando? ¿cuánta agua desechan a los jales mineros? ¿cómo afecta esto su impacto ambiental?

La principal amenaza en términos de contaminación son los jales mineros, pues representan toda el agua que se utiliza en la trituración a la que se agregan elementos muy tóxicos que se van acumulando. De no estar bien diseñados, pueden resultar en daños tanto a los ecosistemas como a las personas. ■



Mapeo de riesgos hídricos para la orientación de inversiones en México

Por Agustín Breña Naranjo, con la colaboración de Emilio García Díaz

Participantes:

- Edwin Fernando Zetina Robledo
- Julio César Soriano Monsalvo

La idea de crear mapas de riesgos hídricos para la inversión sustentable surge, por un lado, por la crisis hídrica en México, que ya tiene un par de décadas y que se puede ejemplificar por lo que pasó en el 2022 en Monterrey, que es una región muy importante en términos industriales y que se encuentra en una región de semiárida a árida, donde siempre ha habido problemas de escasez de agua. En los últimos años se han visto —no solo en Nuevo León, sino en todo el norte del país— cada vez más casos de desabasto y de escasez crónica de agua. Por otro lado se encuentra la llegada de nuevas industrias que están eligiendo a México como un destino principal para la inversión. El problema con esto es que todas estas industrias se quieren establecer lo más cerca posible de la frontera con los Estados Unidos; no quieren irse a Chiapas o a Yucatán, quieren estar en la zona fronteriza del norte, que es donde precisamente estos problemas de escasez hídrica son más patentes. Se ha constatado ya cómo Monterrey estuvo muy cerca de quedarse sin agua, de llegar incluso al temido “día cero”. Entonces, ¿qué pasará si llegan más industrias que demanden más agua?

Antecedentes

Orientación de inversiones de agua



MEDIO AMBIENTE

Decisión

No emitir título de concesión o actividades hidrointensivas

Posibilidad de emitir concesión con base en plan de acción obligatorio (mitigación, infraestructura, gobernanza).

Posibilidad de emitir concesión con base en estudios detallados (mitigación, infraestructura, gobernanza)

Posibilidad de emitir título de concesión



Se les podrían otorgar las concesiones, pero si físicamente ya no hay agua, si los niveles freáticos vuelven a bajar y tardan en recuperarse, entonces se tendría un gran problema. En este sentido, el IMTA ha estado trabajando en una herramienta de planeación hídrica para la industria basada en la sostenibilidad, para que en unos cinco a diez años no se vuelva a presentar una situación igual o peor a la que ya se presentó el año pasado en Monterrey.

Esta herramienta está dirigida principalmente a empresarios e inversionistas que requieren conocer la situación hídrica de los lugares donde pretenden establecer una industria. De hecho, existe ya el concepto de la “inversión sustentable”. La Universidad de Columbia, en Nueva York, EUA, creó el Institute for Sustainable Investment (Instituto para la Inversión Sustentable), porque la idea es que en todo el mundo, no solo en México, se hagan inversiones con el menor impacto posible en la sustentabilidad ambiental y económica.



Zonas y sitios arqueológicos.

El sistema de mapas que se ha generado tiene en cuenta la climatología regional, con el fin de ver en dónde ha habido y dónde no ha habido agua y cómo se ha comportado la disponibilidad hídrica en todo el territorio en los últimos veinte años. Utilizando datos de satélite se muestra en qué regiones del país ha habido una caída en la disponibilidad hídrica y en cuáles no.

Las capas de datos se superponen y se genera un mapa en el que se muestran las regiones en las que no existen problemas de disponibilidad hídrica, es decir, en donde la industria sí podría establecerse y la autoridad podría emitir una concesión sin problema; otras áreas en donde sí, siempre y cuando la empresa tenga algún plan de mitigación de los impactos que generaría, y otras regiones donde realmente ya no es posible dar concesiones.

Este sistema de mapas estará disponible en un futuro próximo, en una plataforma del IMTA, como un instrumento enfocado sobre todo a la política pública.

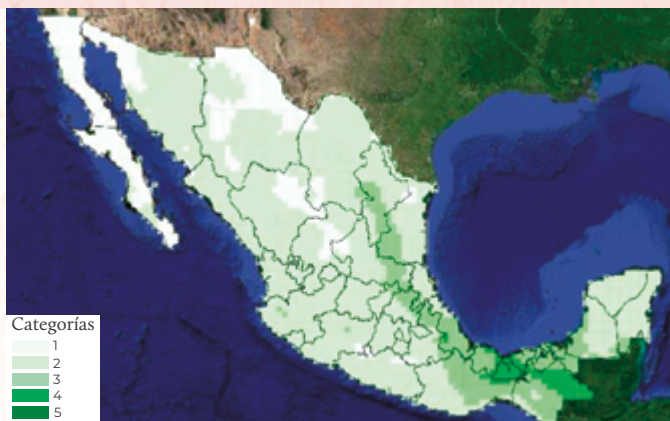


Territorios indígenas.

Por ejemplo, la Secretaría de Economía podría utilizarlo para definir dónde sí y dónde no es factible que se establezca tal o cual empresa. Se está trabajando también con el INECC, con la Conanp y otras instancias de la Semarnat, para añadir otras capas, por ejemplo dónde existen comunidades indígenas, dónde se encuentran zonas arqueológicas, etc.

El sistema las vertientes, en la del golfo de México, Sinaloa, Chiapas, Tabasco y la península de Yucatán, ahí no hay ningún tipo de restricciones para la industria, pero obviamente en estas regiones es donde también se encuentran áreas naturales protegidas, Chiapas que es uno de los centros de biodiversidad más grandes de México, las zonas arqueológicas de Yucatán, etc. Entonces, surgen áreas con otro tipo de restricciones, como estas, además de las que son propensas a fenómenos hidrometeorológicos extremos, que también limitarían su planeación sustentable.

La propuesta es que cada seis meses a un año se actualice la información de estos mapas y que quede en una plataforma de consulta para posibles inversionistas, empresarios, grupos empresariales, y gremios industriales como la Canacintra, el Consejo Mexicano de Hombres de Negocios, el Consejo Coordinador Empresarial, entre otros. ■



La importancia de la comunicación sobre el muestreo de la calidad del agua en las comunidades:

Tetlama, Miacatlán y otros casos

Por Camilo Vázquez Bustos, con la colaboración de Marina Ruiz Rodríguez

Para realizar una investigación que involucra la colecta de muestras de agua para determinar su calidad en una comunidad o zona rural, es esencial el contacto con la comunidad, así como respetar sus tiempos, usos y costumbres. Hay un proceso de acercamiento, la comunidad normalmente tiene una tradición y comunicación con otros pueblos; si generamos confianza en un pueblo esa experiencia se extiende a la región. El muestreador va generando una sensibilidad a las culturas y territorios, lo que permite apertura y humildad en el trabajo, valorando la importancia de las comunidades y la comunicación con ellas, logrando un consenso en la determinación de sitios a muestrear. Si la comunidad no está de acuerdo se entorpece el estudio del agua, porque es la comunidad la que conoce los sitios con la mayor problemática. Es importante, explicar los procedimientos e involucrar a la comunidad en el proceso.

Es sustancial el papel de los directivos de la Semarnat y el IMTA, ya que a través de ellos, se establecen las problemáticas a atender, indicando siempre las consideraciones que se deben tener con las comunidades.

En este sentido, cuando se trabaja con pueblos indígenas, es de suma importancia conocer sus usos y costumbres. Lo anterior, debido a que en algunos de ellos los cuerpos de agua son lugares sagrados; en las zonas urbanas no hay esa relación con la naturaleza. También hay ciertos ritos y costumbres en algunas comunidades, y tenemos que pedir permiso a la naturaleza, a los patronos de la comunidad, y a las autoridades de

estas para realizar las acciones de monitoreo. En otras comunidades las circunstancias que nos impiden entrar son los conflictos sociales y la seguridad, incluso cuestiones de lingüística, como en Chiapas, donde nuestra falta de conocimiento del tzotzil dificulta la comunicación.

Hemos visto una mejoría en los procesos al aplicar un enfoque donde se le da espacio a la comunidad para participar en la toma de decisiones; antes no se consideraba la participación y aportes de la comunidad. Actualmente, existe una mayor participación de las comunidades y eso ha permitido consensar los sitios de monitoreo. Al presentar a la comunidad los resultados de calidad del agua, sin haber sido ésta incluida, no van a estar de acuerdo con los resultados, ni con el estudio. Involucrarlos permite que comprendan el trabajo realizado

Se avanza más siendo empáticos y compartiendo la información con la comunidad, lo que da resultados satisfactorios para ellos y para nosotros, se llega a soluciones más concretas, se da una transferencia de conocimiento en ambos sentidos. Ellos entienden que hay parámetros que permiten identificar y cuantificar en su caso, los contaminantes presentes y cuál es la afectación humana y la importancia de la sanidad.

Compartimos a las comunidades el conocimiento para la toma de decisiones al respecto de los usos, tipos de calidad del agua y como pueden generar soluciones en la vida diaria.



Acompañamiento de supervisión con la comunidad de San José de Gracia, Oaxaca.



Apertura de diagnóstico de relleno sanitario con la comunidad Villa de Zaachila, Oaxaca.

Anécdotas

En el caso de una minera, en proceso de exploración para determinar si el sitio era adecuado para la extracción de un metal, la comunidad creía que la acción generaba una contaminación, al realizar un monitoreo de calidad del agua, se aclaró que no existía ésta. En el monitoreo hubo la participación de la comunidad, lo que aminoró la desconfianza que tienen de las autoridades.. Se estableció una buena comunicación con integrantes de la comunidad, lo que generó un apoyo mutuo.

En una comunidad, que tenía años solicitando un estudio de calidad de agua, cuando se les dio respuesta atendiendo su solicitud, la comunidad recibió la visita con entusiasmo y abierta a participar. La comunidad estaba muy interesada en darle solución a la situación de sus cuerpos de agua, atendieron y apoyaron para que se realizará el trabajo de mejor manera. Comentaron que era la primera vez que se sentían escuchados y acompañados, tienen la confianza de que se dará seguimiento y continuidad a su petición.

Hace algunos años se realizó un monitoreo en una comunidad del norte del estado de Morelos, para lo cual se siguió un proceso largo, ya que fue necesario ponerse de acuerdo primero con el comité de ancianos del pueblo. Se colectaron muestras de agua, indicando el resultado que existía contaminación por nutrientes. Una de las acciones inmediatas fue hablar con ellos y explicarles lo que estaba pasando en un lenguaje accesible para ellos. Al final la comunidad agradeció infinitamente el apoyo otorgado.■



Muestreo en la cascada de Basaseachic.



Reunión de apertura de muestreo con la comunidad de Basaseachic, Ocampo, estado de Chihuahua.



Toma de muestras con acompañamiento de representantes de la comunidad de Miacatlán.



Cierre de trabajos del día. Comunidad de Basaseachic.



Muestreo con acompañamiento de la comunidad de Basaseachi.

Dictamen de impactos ambientales

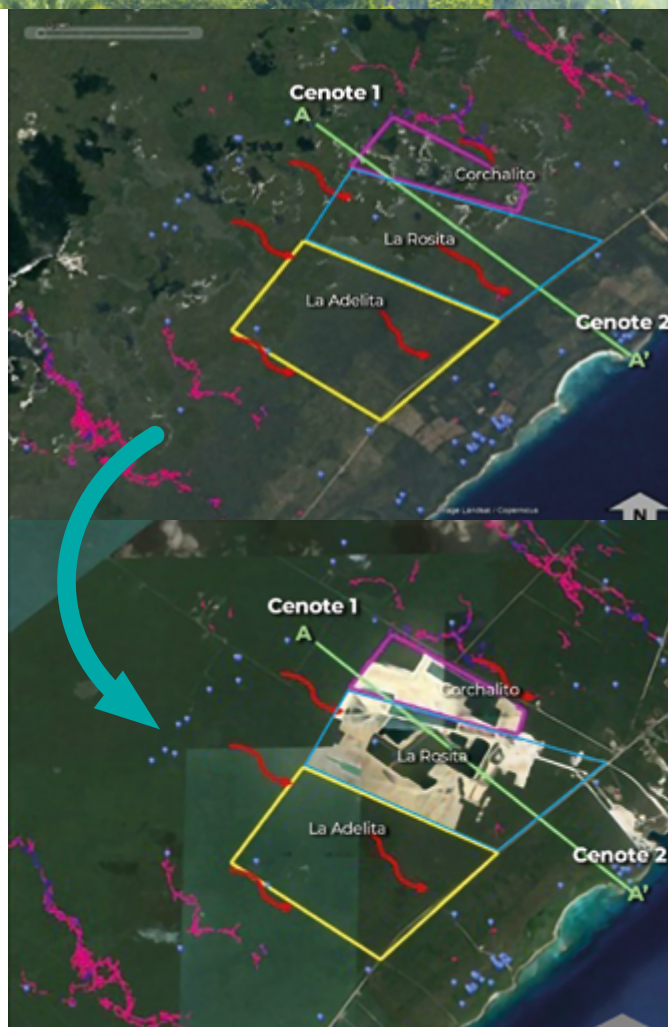
derivados del proyecto de extracción industrial de roca caliza a cargo de la empresa Calica en los municipios de Solidaridad y Cozumel, Quintana Roo

Por Juan Carlos Centeno, con la colaboración de Jesús Hernández Sánchez

El IMTA contribuyó en el 2022, por solicitud de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) en la elaboración de un dictamen de impactos ambientales provocados por las actividades extractivas en los predios El Corchalito y La Adelita, en el municipio de Solidaridad, Quintana Roo, donde la empresa estadounidense Calizas Industriales del Carmen, S. A. de C. V. (Calica) realizaba trabajos de aprovechamientos de roca caliza por debajo del manto freático.

Un año después, el 25 de octubre de 2022, la Semarnat destacó la relevancia del estudio técnico *Dictamen de impactos ambientales derivados del proyecto de extracción industrial de roca caliza a cargo de la empresa Calica (hoy SAC-TUN) en los municipios de Solidaridad y Cozumel, Quintana Roo*, realizado por el sector ambiental federal, que sirvió a comunidades de Quintana Roo cercanas a la operación de la minera estadounidense Calica para emprender una acción colectiva y exigir la restauración del daño ambiental que ha causado la empresa durante 36 años, así como el cierre definitivo de sus operaciones.

El estudio antes enunciado, que se llevó a cabo mediante trabajo de campo y gabinete, mostró la evidente devastación del suelo y del alto grado de contaminación del aire, además de una grave afectación a la biodiversidad que involucró a más de 900 especies, pero, sobre todo, evidenció un alto nivel de contaminación y sus impactos negativos en el agua de la región, todo ello ocasionado por la operación de la empresa.



Cambios en el flujo regional del sitio de estudio entre 1985 y 2022.

En este trabajo participaron más de cincuenta especialistas provenientes tanto del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua como del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (Inecc) y de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp).
Conclusiones del dictamen hídrico:

- Interrupción del flujo regional subterráneo por los grandes almacenamientos de agua al interior de Calica, verificada por la caída del nivel freático en cenotes costeros
- Deterioro en la calidad del agua en los cenotes costeros, atribuible directamente a la actividad minera
- Modificación de flujos regionales, los cuales han generado grietas y depresiones a lo largo de la carretera 307 frente a Calica, que en zonas cársticas pueden producir socavones

- Retención de agua subterránea muy por encima de lo autorizado en las concesiones otorgadas por la Conagua para cuerpos de agua artificialmente creados
- Faltas de tipo administrativo y fiscal relativos a la declaración y pago de derechos de agua por parte de la empresa

Tanto la Semarnat como el IMTA tienen una política ambiental basada en la justicia social en beneficio de las comunidades más vulnerables, por lo que seguirán comprometidos en brindar la información técnico-científica y el acompañamiento necesario con el único objetivo de garantizar el derecho humano a un medio ambiente sano que se encuentra consagrado en el artículo cuarto de nuestra constitución. ■



¡FELICIDADES, COMUNIDAD IMTA!

El Instituto Mexicano de Tecnología del agua ha sido acreditado como *Unidad de Inspección* bajo la norma *NMX-EC-17020-IMNC-2014 ISO/IEC 17020:2012. Requisitos para el funcionamiento de diferentes tipos de unidades (organismos) que realizan la verificación (inspección)*, para la materia de *Medición de volúmenes de aguas nacionales usados, explotados o aprovechados*.

Acreditación número MVA-023



Sistema de Información Geográfica **Agua y Minería**

Por Juana Amalia Salgado López
y Edwin Fernando Zetina Robleda,
con la colaboración de Marina Ruiz Rodríguez

La actividad minera en nuestro país data de hace más de 450 años. Estados como Guanajuato, Zacatecas, Durango y Chihuahua tienen su origen en un importante pasado minero. Actualmente, la minería está centrada en metales industriales y preciosos y se realiza a gran escala, lo cual produce impactos ambientales notorios, como grandes movimientos de tierra, degradación y cambios en el uso de suelo y contaminación de cuerpos de agua con metales pesados y otras sustancias tóxicas (lixiviados, drenaje ácido, etc.). Aunado a ello, son conocidas las enfermedades que estas actividades causan en las comunidades aledañas.

Asimismo, es una industria que requiere un alto consumo de agua, lo cual afecta su disponibilidad y calidad. No se conoce con precisión el volumen de agua utilizado, ya que México permite el uso libre y sin medición del agua del subsuelo que aflora debido al contacto de las obras de exploración y explotación con el acuífero al interior de los lotes mineros (agua de laboreo).

En el Registro Público de Derechos de Agua (Repda) se inscriben los títulos de concesión que se otorgan a los usuarios de aguas nacionales, incluyendo la industria minera. En este sentido, el Sistema de Información Geográfica Agua y Minería recupera información del Repda sobre las concesiones de agua otorgadas a mineras en México, con el fin de presentar una primera aproximación para conocer el volumen de agua utilizado por esta industria, que se espera pueda servir como herramienta de análisis para la toma de decisiones en el diseño de políticas públicas.

Una parte de la información contenida en este SIG es producto de un convenio de colaboración entre Oxfam-México y el IMTA, en el cual se transfirió una base de



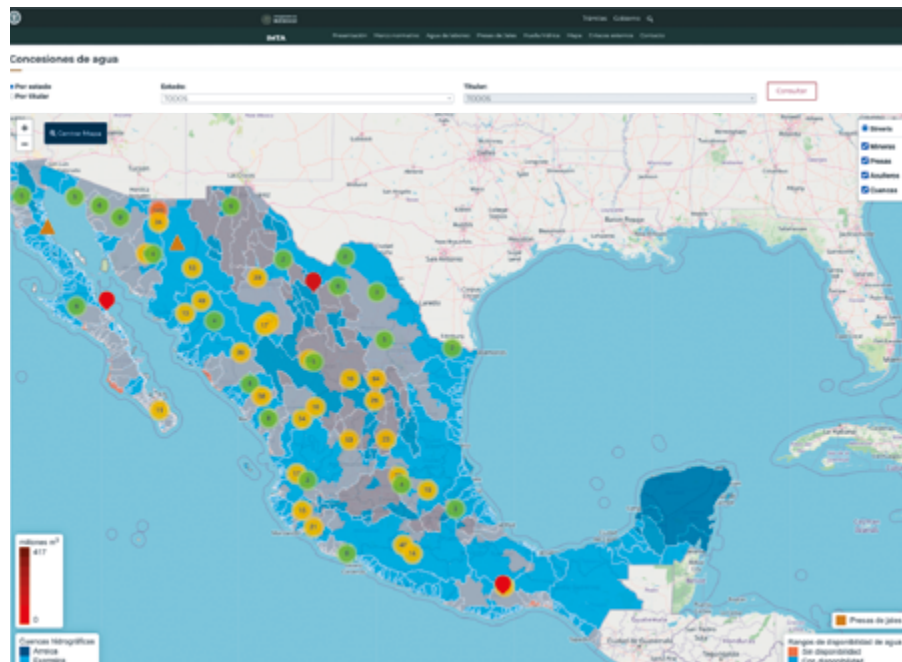
datos de los títulos de concesión registrados hasta el 2019. Como parte de una adaptación, el IMTA actualizó la información disponible hasta agosto de 2022 e integró información adicional para conocer la interacción entre el agua y la industria.

Es importante mencionar que en el Repda no se define el tipo de industria y que el nombre del titular puede ser registrado como persona física y no necesariamente con la razón social de la empresa. Esto representa una dificultad para rastrear las mineras. Aunada a esta barrera de información, existen empresas con títulos cuyo uso es distinto al industrial (p. ej. servicios, usos múltiples).

Por otra parte, en la minería a cielo abierto es común el empleo de grandes cantidades de agua durante los procesos de separación y concentración de minerales, requiriéndose además instalaciones para su manejo y almacenamiento. Entre este tipo de instalaciones se encuentran las presas de jales, que son depósitos de residuos acuosos construidos regularmente al aire libre y con materiales pétreos sobre el terreno natural.

El grado de peligrosidad potencial de contaminación ocasionado por posibles derrames de las presas de jales depende principalmente de tres factores: la toxicidad del residuo, el volumen almacenado y su ubicación geoespacial dentro de la cuenca. Fallas de este tipo de presas pueden comprometer la seguridad hídrica, alimentaria y económica, así como la salud pública y ecosistémica de las cuencas hidrológicas.

El marco normativo en el que se enmarca este SIG es la Ley Minera (la cual se revisó en concordancia con otras leyes: la Ley de Inversión Extranjera, la Ley de Sociedades Mercantiles y la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente). La Ley Minera se publicó en el Diario oficial de la Federa-



ción el 26 de junio de 1992, que entró en vigor a los noventa días naturales de su publicación y derogó una ley en la materia aprobada en 1975, la cual estipulaba que solo se podía entregar concesiones a ciudadanos mexicanos por nacimiento o personas morales integradas en más de un 50 % por capitales mexicanos. La ley del 92 permite que capitales transnacionales participen en las concesiones, siempre y cuando se solicite la concesión a través de una filial mexicana. En total ha tenido cinco reformas, la más reciente es la del 2022, en la que se introdujeron los cambios relativos a la exploración, la explotación, el beneficio y el aprovechamiento del litio.

Dentro de los aspectos de la Ley Minera, el artículo 6 establece la preferencia de la actividad minera por encima de cualquier otro uso o aprovechamiento en el terreno (incluyendo el agua), excepto frente a actividades de exploración y extracción del petróleo y otros hidrocarburos.

El análisis normativo se centra en tres aspectos: 1) identificación de atribuciones, 2) análisis de criterios en materia de concesiones y asignaciones y 3) revisión en materia ambiental. Se espera que el SIG fortalezca la toma de decisiones del sector hídrico, proporcionando información de manera fácil y objetiva.■

Riesgos climáticos y medioambientales: los mayores desafíos globales para la próxima década

Por David Ortega Gaucin

El más reciente Informe sobre Riesgos Globales publicado por el Foro Económico Mundial (WEF, 2023), establece que los riesgos climáticos y medioambientales serán los mayores desafíos globales para la próxima década.

Actualmente vivimos tiempos turbulentos, marcados por crisis sanitarias, ambientales, socioeconómicas y políticas en todo el mundo. El cambio climático, la pandemia de COVID 19, la guerra en Ucrania y todos los efectos colaterales que estos grandes acontecimientos han traído consigo en los últimos años son ejemplos palpables de ello.

El más reciente Informe sobre riesgos globales publicado por el Foro Económico Mundial (WEF, 2023) establece que los riesgos climáticos y medioambientales serán los mayores desafíos globales para la próxima década, y son los riesgos para los cuales se considera que estamos menos preparados. El informe referido establece que la falta de avances profundos y concertados en los objetivos climáticos ha puesto de manifiesto la divergencia entre lo que es científicamente necesario para lograr el objetivo de cero emisiones netas de gases de efecto invernadero, y lo que es políticamente factible. Las crecientes demandas de recursos de los sectores público y privado derivadas de otras crisis reducirán la velocidad y la escala de los esfuerzos de mitigación en los próximos años, junto con un progreso insuficiente de apoyo a la adaptación para aquellas comunidades y países cada vez más afectados por los impactos del cambio climático.

A pesar de treinta años de diplomacia mundial para la defensa del clima, el sistema internacional ha tenido dificultades para lograr los avances necesarios en esta materia. El posible fracaso a la hora de abordar este riesgo existencial mundial entró por primera vez en los primeros puestos de la clasificación de los informes so-

bre riesgos globales hace más de una década, en 2011. En la actualidad, de acuerdo con el Boletín de gases de efecto invernadero, publicado por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2022), los niveles atmosféricos de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso han alcanzado máximos históricos. Las trayectorias de las emisiones de estos gases hacen muy poco probable que se alcancen los objetivos mundiales establecidos en el Acuerdo de París de limitar el calentamiento global a 1.5 °C.

La incapacidad para mitigar el cambio climático se considera como una de las amenazas más graves a corto plazo. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2022), la probabilidad de superar el objetivo de 1.5 °C para el año 2030 es del 50 %. Los compromisos actuales del sector privado de los países que conforman el Grupo de los Siete (G7), sugieren un aumento de 2.7 °C a mediados de siglo, muy por encima de los objetivos del Acuerdo de París (Davis & Bailey, 2022).

Las presiones internacionales actuales deberían dar lugar a un punto de inflexión, animando a los países a invertir cada vez más en fuentes de energías renovables seguras, más limpias y más baratas (Papathanasiou, 2022).

Sin embargo, las tensiones geopolíticas y las presiones económicas ya han limitado—y en algunos casos invertido— los avances en la mitigación del cambio climático, al menos a corto plazo. Por ejemplo, debido a los graves recortes en el suministro de gas natural procedente de Rusia y los precios récord ocasionados por la guerra en Ucrania, la Unión Europea gastó al menos cincuenta mil millones de euros en infraestructuras y suministros nuevos y ampliados de combustibles fósiles, y algunos países volvieron a poner en marcha centrales eléctricas de carbón (Hancock, 2022).

Así, es poco probable que el impulso general para la mitigación del cambio climático se acelere en los próximos años. Las negociaciones de la pasada Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP27), no lograron alcanzar un acuerdo necesario para eliminar progresivamente el uso de combustibles fósiles, lo que pone de manifiesto la dificultad de equilibrar las necesidades de corto plazo con las de largo plazo. A pesar de los planes para un objetivo global sobre adaptación que se acordará en la COP28 (a celebrarse en Emiratos Árabes Unidos a finales de 2023), tampoco ha habido avances suficientes hacia el apoyo necesario para las infraestructuras y poblaciones que ya han sido afectadas por las consecuencias del cambio climático. Según el Informe sobre la brecha de adaptación, publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2022), la adaptación no se ha financiado adecuadamente, ya que actualmente sólo el 34 % de la inversión en la lucha contra el cambio climático se destina a este rubro en todo el mundo.

En este contexto, a medida que las crisis actuales desvíen recursos de los riesgos que surjan a mediano y largo plazos, aumentarán las presiones sobre los ecosistemas naturales, dado su papel aún infravalorado en la economía mundial y en la salud general del planeta. La pérdida de recursos naturales y el cambio climático están intrínsecamente interrelacionados, por lo que un fallo en una esfera afectará en cascada a la otra. Por ello, según el informe de riesgos citado anteriormente (WEF, 2023), si no hay cambios significativos en las políticas públicas o en las inversiones, la interacción entre los impactos causados por el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la seguridad alimentaria y el consumo de recursos naturales provocará el colapso de los ecosistemas, pondrá bajo amenaza el suministro de alimentos y los medios de subsistencia en las economías más vulnerables, amplificará los impactos de los desastres asociados a fenómenos naturales, y limitará aún más los avances en la mitigación del cambio climático.■



Referencias

Davis, J. & Bailey, R. (2022). Missing the Mark. 2022 Analysis of Global CDP Temperature Ratings. Oliver Wyman & CDP. <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2022/sep/cdp-temperature-ratings.html>

Hancock, A. (2022). "Europe's new dirty energy: the 'unavoidable evil' of wartime fossil fuels". Financial Times, 6 September 2022. <https://www.ft.com/content/b209933f-df7f-49ae-8f82-edc32ed622a6>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, USA. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/about/how-to-cite-this-report/>

Papathanasiou, D. (2022). "Renewables are the key to green, secure, affordable energy", World Bank Blogs. <https://blogs.worldbank.org/energy/renewables-are-key-green-secure-affordable-energy>

bles-are-key-green-secure-affordable-energy

UNEP (United Nations Environment Programme). (2022). Adaptation Gap Report 2022: Too Little, Too Slow – Climate adaptation failure puts world at risk. Nairobi, Kenya. <https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2022>

WEF (World Economic Forum). (2023). The Global Risks Report 2023. 18th Edition. Geneva, Switzerland. <https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2023/>

WMO (World Meteorological Organization). (2022). WMO Greenhouse Gas Bulletin (GHG Bulletin): The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2021. Geneva, Switzerland. <https://reliefweb.int/report/world/wmo-greenhouse-gas-bulletin-ghg-bulletin-state-greenhouse-gases-atmosphere-based-global-observations-through-2021-no-18-26-october-2022>

Diseño funcional de sistemas de filtración directa a presión para remover arsénico o hierro y manganeso de agua para uso y consumo humano

Por Leonel Contreras Gómez,
Alejandra Martín Domínguez,
Arturo González Herrera,
Martín Piña Soberanis,
y María de Lourdes Rivera Huerta

En fecha reciente, el IMTA publicó, producto de la experiencia y reconocida calificación de sus tecnólogos del agua, el libro *Diseño funcional de sistemas de filtración directa a presión para remover arsénico o hierro y manganeso de agua para uso y consumo humano*. Aquí se presenta la secuencia de cálculo para el diseño de procesos e hidráulica de plantas potabilizadoras de FD (filtración directa) con filtros a presión. Está dirigido a desarrolladores y supervisores profesionales de las áreas de ingeniería y proyectos funcionales y a ejecutivos de plantas potabilizadoras.

Para los sistemas de tratamiento, tanto de remoción de arsénico como de hierro y manganeso, se puede aplicar la FD, por lo que la metodología de dimensionamiento es similar, con ciertas particularidades, entre otras: tasas de filtración, tipo y espesor de lechos filtrantes, tipo de reactivos, tasas de retrolavado y tiempos de sedimentación para el espesado de los lodos.

Los principales problemas detectados en plantas de tratamiento construidas a escala real y dotadas de este tipo de sistemas son el mal diseño y la construcción y operación inadecuadas, lo que conlleva a una producción de agua de deficiente calidad. En México, el proceso de FD se encuentra ubicado en el 2° lugar de aplicación, si se considera el caudal producido (20.324 m³/s), y en el 4° lugar de acuerdo con el número de plantas (113) construidas en el país (Conagua, 2019). De ahí la importancia de contar con un manual que ayude a los profesionales a desarrollar mejores diseños de este tipo de plantas.

La estructura de este trabajo se basa en la experiencia del IMTA en cuanto al manejo tanto de información especializada como de normas y manuales técnicos vigentes referentes a metodología, criterios de diseño y recomendaciones para calcular



Diseño funcional de sistemas de filtración directa a presión para remover arsénico o hierro y manganeso de agua para uso y consumo humano.

el número de filtros y sus dimensiones, los diámetros de tuberías, la capacidad de tanque de agua tratada, las dimensiones del sedimentador de agua producto del retrolavado de filtros, los cárcamos de lodos y de agua tratada, y los volúmenes y tiempos de recirculación de agua clarificada del espesador para optimizar el proceso. Además, el Instituto cuenta con una amplia trayectoria en el arreglo general de una planta potabilizadora.

El diseño de este tipo de sistemas, si bien se puede encontrar en diferentes libros especializados, no está sistematizado para cubrir todos los elementos que se requieren en la conceptualización de diseños funcionales completos que sirvan, a su vez, para el diseño ejecutivo que lleve a la construcción de una planta con estas características.

Este libro es una guía, paso a paso, de los cálculos necesarios para dimensionar los componentes de una planta potabilizadora de FD para remover adecuadamente hierro y manganeso o arsénico, a saber:

- 1) **Parámetros de diseño.** Se dan recomendaciones importantes sobre los valores de los estos parámetros, resultado de muchos años de experiencia del grupo de Potabilización del IMTA en el diseño y operación de este tipo de sistemas.
- 2) **Selección del número y tamaño de filtros.** Parte importante del proceso de diseño que incorpora costos de operación e inversión y la determinación precisa del área requerida, con lo cual se optimiza la configuración de la planta potabilizadora.



Derivado del proceso de potabilización del agua, se generan costos por consumo de reactivos, energía eléctrica, mano de obra y mantenimiento.



Equipos de bombeo.

- 3) **Diseño de filtración y recuperación de agua de retrolavado.** Una vez seleccionada la mejor configuración, se dimensionan todos los componentes de la planta, como la estructura de los filtros, el sistema de retrolavado de filtros y el tratamiento de lodos, el diámetro de tuberías, y las pérdidas de carga, entre otros aspectos.
- 4) **Tanques de agua cruda y tratada.** Proporciona todos los elementos para el dimensionamiento de los tanques de almacenamiento de agua cruda o de agua tratada.
- 5) **Equipos de bombeo.** Se calcula la capacidad de los equipos de bombeo requeridos para la filtración, el retrolavado, la distribución del agua a la red y de recirculación para recuperar el agua clarificada de retrolavado.
- 6) **Reactivos.** Se hacen los cálculos para estimar los requerimientos de los reactivos químicos, como el cloro, el cloruro férrico y el polímero, según sea el caso del contaminante a remover, su concentración y el caudal de agua a tratar.
- 7) **Costos de operación.** Se calculan los costos de operación, desglosados por requerimientos de reactivos, energía eléctrica, mano de obra y mantenimiento. Esto permite tener un estimado preliminar, necesario en todo anteproyecto o proyecto funcional, del costo por metro cúbico de agua tratada.

De esta manera, el IMTA cumple con su misión de generar, transferir y difundir conocimiento, tecnología e innovación como soporte para el manejo integrado, equitativo y sustentable del agua en México. ■

La nueva estructura organizacional del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua



Por Jesús Hernández Sánchez

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) se fundó en octubre de 1986 y en octubre de 2001, por decreto presidencial, se le confirió el estatus de organismo público descentralizado de la administración pública federal, con personalidad jurídica y patrimonio propios. En diciembre de 2009 se le reconoció como centro público de investigación, mediante resolución conjunta de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

El 28 de diciembre de 2022 se publicaron en el *Diario Oficial de la Federación* modificaciones tanto al estatuto orgánico como al manual de organización del IMTA. Vale la pena resaltar que estas normas son de observancia obligatoria para todas las personas servidoras públicas adscritas a las unidades administrativas que conforman a nuestra Institución. Esta actualización obedece a la facultad y obligación de los órganos de gobierno de las entidades paraestatales y de sus direcciones generales de mantener actualizados estos nuevos ordenamientos oficiales que entraron en vigor un día después de su publicación.

De esta manera, el IMTA se reestructura en cuatro coordinaciones: Seguridad Hídrica, Sistemas Hídricos, Calidad y Ecología del Agua, y Gobernanza del Agua y Fortalecimiento de Capacidades, además de la Unidad de Vinculación y Asuntos Internacionales, la Unidad de Administración y Finanzas, y la Unidad Jurídica.

En el *Manual de organización* se destaca nuestra misión como centro público de investigación, que consiste en generar, transferir y difundir conocimiento, tecnología e innovación como soporte para el manejo integrado, equitativo y sustentable del agua en México.

Los cinco objetivos que orientan las contribuciones del Instituto son los siguientes:

- 1) Generar conocimientos científicos y tecnológicos para apoyar la toma de decisiones del Gobierno de México en el manejo y la conservación del agua.

- 2) Incorporar el enfoque prospectivo e interdisciplinario del agua en el quehacer institucional que permita reconocer este elemento como pilar del desarrollo sostenible y equitativo.
- 3) Reducir la dependencia tecnológica del exterior e impulsar la innovación y un entorno favorable para el desarrollo tecnológico, necesarios para la construcción de la soberanía científica de México y la recuperación de su liderazgo regional.
- 4) Impulsar la generación de recursos humanos especializados con una formación interdisciplinaria que habiliten la formulación de soluciones integrales a los problemas que surgen por las interacciones entre agua, ambiente y sociedad.
- 5) Fortalecer vínculos de cooperación con actores clave en el sector hídrico y ambiental, público y privado, nacional e internacional.

A través de esta reestructuración institucional se pretende contribuir en la generación de un enfoque interdisciplinario de colaboración que, además de contener el rigor científico, incorpore la dimensión social del agua con el fin de consolidar una visión integrada entre las ingenierías, las ciencias naturales, de la salud y las ciencias sociales.

En ese sentido, se promueve el uso del conocimiento en el diseño, implementación y evaluación de las políticas públicas que permitan enfrentar los retos hídricos actuales y futuros. Este esfuerzo conjunto permitirá garantizar el agua para la vida y el desarrollo equitativo que tanto anhelamos en México.

El IMTA trabaja para poner el conocimiento del agua al servicio de México.

A continuación se describen, de manera sucinta, las diferentes áreas que conforman esta nueva estructura institucional.



Coordinación de Seguridad Hídrica

Por Agustín Breña Naranjo, con la colaboración de Marco A. Sánchez Izquierdo y Jesús Hernández Sánchez

Generar conocimiento hídrico, derivado de investigación aplicada en temas que afecten a la sociedad en aspectos cuantitativos y cualitativos, es una de las funciones esenciales de la Coordinación de Seguridad Hídrica, a través de sus cuatro líneas de investigación principales:

- **El agua y el territorio.** Analiza la problemática que conllevan diversas actividades, como la minería, que pueden afectar al territorio, a las cuencas y a los acuíferos.
- **Eventos extremos y cambio climático.** Se estudian todas las proyecciones a futuro, se monitorean fenómenos como la sequía y, en general, el riesgo climático con una perspectiva de seguridad hídrica.
- **Agua y alimentos.** Estudia la planeación y gestión del agua en las zonas agrícolas, principales en los usuarios de riego.
- **Agua, energía y proyectos productivos.** Se apoya directamente a los pequeños productores con tecnologías apropiadas que fomenten el uso sustentable del agua y la energía.

Presente y futuro

Por otro lado, en Sonora se capacita a los usuarios del DR 018 del Pueblo Yaqui y llevamos dos años trabajando en los distritos de riego de Sinaloa, donde se desarrolla un sistema de agricultura digital con plataformas para monitoreo de superficies de riego, cuyos datos se pueden desagregar regionalmente para apreciar las diferencias que existen dentro de un distrito y un módulo de riego; el comportamiento de la huella hídrica y la productividad a nivel de parcela.

Con la evidencia estadística antes descrita, los productores y la autoridad pueden conocer y valorar la manera en que se utiliza el agua y así generar los apoyos y las acciones correctivas que se requieran. Esta experiencia que hemos constatado en un módulo de riego, tiene el potencial de ser replicada en todo el país.

Dentro de las líneas de acción mencionadas anteriormente se incluye la vinculación externa del IMTA, a través de la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Amexcid), con países de Centroamérica y el Caribe, a quienes brindamos capacitación y asesoría. Tal es el caso de un proyecto agrícola establecido con Guatemala para trabajar en laderas con buenas prácticas de manejo de agua y suelo para evitar su degradación y mejorar la producción.

En la relación del agua con los procesos productivos se brinda apoyo a los proyectos presidenciales como La escuela es nuestra y el desarrollo de huertos urbanos a pequeña escala. En relación al agua y eventos extremos se creó un pronóstico meteorológico de alerta temprana para las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey y se realizó una actualización de escenarios de cambio climático con técnicas de escalamiento. También se pla-

nea la realización de un atlas nacional de agua para las inversiones sustentables y se negocia la elaboración del Plan Estatal Hídrico del estado de Hidalgo.

Las líneas de acción antes descritas implican un abordaje transversal e interdisciplinario de colaboración que incluye la participación de las diferentes áreas del Instituto. Los nexos entre el agua, el territorio y las actividades productivas como la industria, la agricultura y la hidroenergía están íntimamente ligadas, toda vez que su desarrollo se presenta simultáneamente en las cuencas hidrológicas de nuestro país: tenemos bosques en las partes altas y en las zonas bajas observamos crecimiento y migración de las zonas rurales a las ciudades, lo cual genera cambios locales en el balance hídrico, sin embargo, continúan las actividades agropecuarias e industriales que se entrelazan de distintas maneras en todo el territorio nacional.



Coordinación de Sistemas Hídricos

Por Juan Pablo Rodríguez Rincón, con la colaboración de Marco A. Sánchez Izquierdo

Propiciar el cumplimiento del derecho humano al agua y al saneamiento, incrementar la resiliencia de los sistemas hídricos, contribuir al desarrollo sostenible y la conservación del medio ambiente mediante la aplicación de una nueva visión de la ingeniería en un entorno interdisciplinario es el objetivo de esta coordinación. Su función esencial en la nueva visión del Instituto es el estudio técnico del agua a través de cuatro subcoordinaciones:

- Experimentación Física e Innovación Tecnológica
- Gestión de Aguas Subterráneas
- Aguas Superficiales y Oceánicas
- Sistemas Hidráulicos e Infraestructura Verde



Estas líneas de acción, con una visión transversal, se traducen en la realización de prototipos de infraestructura verde, como son dos casas ecológicas: una periurbana y otra rural, a las que hemos apostado a hacerlas con elementos de la región, con techos verdes para poder recuperar el agua de lluvia y mejorar las condiciones y la temperatura de las casas, con algunas tecnologías para el saneamiento y reúso del agua. Otro ejemplo de nuestro trabajo es el que realizamos en torno a las presas, una línea que ha mantenido una tradición del IMTA en temas de infraestructura, donde no sólo trabajamos con modelos físicos y numéricos, sino también en interacción con la población. Tal es el caso de nuestra participación en el proyecto de la presa El Zapotillo, para informar a las poblaciones sobre el alcance de las obras y conocer sus ideas e inquietudes para que sus poblados no sean inundados.

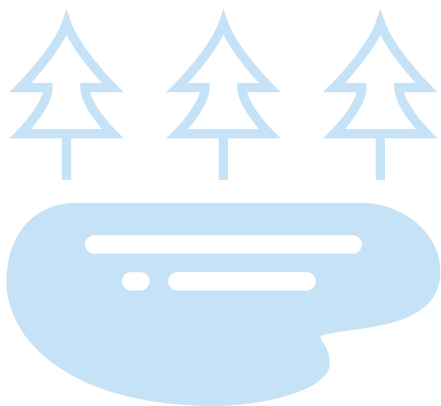
La interacción se da también con el resto de las áreas del Instituto. Por ejemplo, con el diseño de sistemas de riego, con políticas públicas para la seguridad de las poblaciones y con el desarrollo de capacidades. Ya no se trata solamente de infraestructura, sino también de los temas sociales, del arraigo de las poblacio-

nes a su territorio y de la sustentabilidad y el cuidado al medio ambiente.

Respecto a aguas superficiales y subterráneas, hemos trabajado, por ejemplo, en los mapas hídricos de la actividad minera en nuestro país, un tema fundamental; otro tema ha sido el estudio del impacto de la producción porcícola en la calidad del agua subterránea en la península de Yucatán, en colaboración con otros organismos del sector ambiental. Con esta perspectiva, trabajamos también en la recuperación hidrológica del área natural protegida del lago de Texcoco.

La evolución nos ha llevado a ver más allá de las obras ingenieriles, hacia el manejo integrado de cuencas, a considerar las interacciones de la población con sus territorios y con las aguas superficiales y subterráneas. El enfoque interdisciplinario permite organizar grupos para mejorar las condiciones de la población, con el fin de generar información útil para la toma de decisiones.

La actualización constante y la excelencia son sellos de esta nueva visión del Instituto, que amalgama la experiencia con la nueva ingeniería para abordar los retos del agua presentes y futuros.



Coordinación de Calidad y Ecología del Agua

Por Norma Ramírez Salinas, con la colaboración de Mónica Paulina Gutiérrez Jiménez

El acceso al agua potable y su calidad son temas de gran importancia en el mundo actual. En México, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) ha dado un paso importante para mejorar la gestión de este recurso vital con la creación de la coordinación de Calidad y Ecología del Agua, la cual se divide en cuatro subcoordinaciones.

Para definir las líneas de acción y los nombres de cada una de estas subcoordinaciones, el IMTA llevó a cabo reuniones de trabajo con expertos en tecnología del agua. Uno de los objetivos principales de esta nueva estructura es la inclusión de la ecohidrología, una disciplina que integra la hidrología y la ecología en el estudio de los recursos hídricos.

Una de las subcoordinaciones es la de Monitoreo y Evaluación de Calidad del Agua, cuyo enfoque principal es verificar la calidad del agua en diferentes fuentes, desde aguas superficiales hasta residuales y tratadas. De esta manera se garantiza que el agua cumpla con los criterios de calidad necesarios para ser consumida, de acuerdo con las normativas vigentes. Además, también se supervisa la descarga de aguas a cuerpos receptores, ya que existen normas específicas que deben cumplirse.



Las subcoordinaciones trabajan en conjunto para “curar” los cuerpos de agua. Por ejemplo, el área de Calidad del Agua caracteriza el agua para que el área de Sistemas de Tratamiento pueda determinar los métodos adecuados para eliminar los contaminantes o tratar el agua según la condición en la que se encuentre. Lo mismo ocurre con el área de Potabilización, que se encarga de resolver las problemáticas relacionadas con el abastecimiento de agua potable. En este caso, primero es necesario conocer el estado del agua y luego se desarrollan los procesos que den solución a los problemas.

Es importante destacar que, ante la problemática actual del agua, es fundamental encontrar formas de reutilizarla. Para lograrlo, se llevan a cabo procesos de tratamiento, purificación o remoción de contaminantes en cada una de las áreas mencionadas.

La Ecohidrología es la disciplina que se encarga de integrar todas las temáticas relacionadas con el agua y trabajar en propuestas que vayan encaminadas a “curar” los cuerpos de agua y los ríos. En este sentido, las subcoordinaciones trabajan en proyectos que buscan identificar problemáticas con respecto a la calidad del agua, aplicando métodos de diagnóstico y emprendiendo acciones para rehabilitar los cuerpos de agua, en colaboración con las comunidades locales, escuchando sus necesidades y propuestas.

Así, la coordinación de Calidad y Ecología del Agua del IMTA integra diferentes disciplinas y enfoques para mejorar la calidad del agua en México y fomentar su reutilización, garantizando su acceso y uso sostenible a largo plazo.



Coordinación de Gobernanza del Agua y Fortalecimiento de Capacidades

Por Alberto Rojas Rueda con la colaboración de Marina Ruiz Rodríguez

En el IMTA reconocemos que existen diversos enfoques de gestión hídrica, como el de la gobernanza del agua; una tendencia normativa y analítica que aborda su manejo de manera integral.

Hace casi ya una década, el Consejo Ministerial de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), de la cual México es parte, adoptó los *Principios de gobernanza del agua de la OCDE* como parte del marco de gobernanza multinivel que propone a los Estados miembros.

En este tenor, el IMTA elaboró un arreglo institucional que incorporara los principales temas de esta recomendación, dando origen, entre otras, a la Coordinación de Gobernanza del Agua y Fortalecimiento de Capacidades, conformada por cuatro subcoordinaciones. Dos de

ellas son de corte investigación-acción y las otras dos están destinadas a fortalecer las capacidades necesarias para la gobernanza efectiva.

Así, la Subcoordinación de Políticas Públicas y Economía del Agua se encarga de realizar el diseño y análisis de políticas públicas, para las que ha desarrollado una caja de herramientas desde el enfoque de gobierno abierto que habilita a la sociedad para acceder a los derechos asociados al agua. Esta subcoordinación considera la planeación hídrica, la actualización de marcos normativos, la emisión de opiniones sobre iniciativas de ley y la revisión de marcos institucionales, así como de los mecanismos institucionales de participación ciudadana del sector agua. Una de sus herramientas es el Barómetro de Transparencia de Organismos Operadores de Agua y Saneamiento.

La Subcoordinación de Participación Ciudadana y Derechos Humanos lleva a cabo investigación y acción de campo sobre procesos participativos que involucran a pueblos indígenas o comunidades equiparables, donde realiza acompañamiento para el diseño de arreglos organizacionales locales que permitan una mejor gestión del agua. Un ejemplo de ello es el primer Acuerdo Público Comunitario entre el IMTA y la Escuelita del Agua. Tres importantes herramientas desarrolladas por esta subcoordinación son el Observatorio Mexicano de Conflictos por el Agua (OMCA), el Observatorio de Organismos Locales de Agua y Saneamiento (OLAS) y la batería de indicadores para evaluar el nivel de cumplimiento de derechos humanos al agua y al saneamiento.

El IMTA reconoce que acceder al conocimiento y a la ciencia es un derecho humano, por lo que la Subcoordinación de Comunicación, Divulgación y Cultura del Agua tiene la tarea institucional de desarrollar y actualizar diferentes plataformas de información y conocimiento generado en el IMTA, entre las que destacan la Catedra Unesco-IMTA, las revistas *TYCA* y *Agua Simple*, las publicaciones especializadas y de divulgación, así como los comunicados en redes sociales.

La Subcoordinación de Posgrado y Educación Continua genera, actualiza y gestiona los diversos programas educativos y de certificación, dado que una gobernanza amplia y colaborativa requiere de la formación de personas con competencias para lograr una gestión integral y sustentable del agua, comprometidas con su país y su comunidad, que regresen a sus lugares de origen y

fortalezcan la gestión del agua, y que puedan realizar la transición a otros modelos integrados de gestión del agua, con enfoque de derechos humanos, seguridad hídrica y gobernanza.

Los proyectos más importantes a desarrollar por la Coordinación de Gobernanza del Agua y Fortalecimiento de Capacidades son:

- Contar con un inventario de herramientas para la gobernanza democrática y colaborativa del agua.
- Integrar la oferta educativa del Instituto en un solo portal digital a través de la Escuela Latinoamericana del Agua.
- Consumar la publicación de los indicadores de derechos humanos al agua y al saneamiento como parte del Sistema Nacional de Evaluación del Nivel de Cumplimiento de los Derechos Humanos, administrado por la Secretaría de Gobernación, y transferir esa capacidad a otros países de la región en el marco del Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe (Escazú).
- Consolidar el programa de Doctorado en Seguridad Hídrica.
- Generar las bases para crear la Maestría en Gobernanza del Agua. ■



Unidad de Vinculación y Asuntos Internacionales

Por Malinali Domínguez Mares, con la colaboración de Emilio García Díaz

La UVAI se creó con la finalidad de conformar un equipo de apoyo para la Dirección General y las áreas técnicas y administrativas del IMTA que permita impulsar y fortalecer las acciones estratégicas institucionales en materia de vinculación, asuntos internacionales, desarrollo y transferencia de tecnología, y proyectos prioritarios.

Asimismo, pretende consolidarse como un área facilitadora de acciones para atender coordinadamente, los requerimientos del Gobierno federal en materia de agua. A partir de las capacidades instaladas, la experiencia y el conocimiento de las distintas áreas, su labor consiste en recopilar, analizar e integrar dicho conocimiento para explicar y proponer soluciones a los problemas y retos que enfrentan los sectores hídrico y ambiental.

Esta Unidad promoverá el cumplimiento de la misión y visión del IMTA, los objetivos del Programa Institucional 2021-2024 y su respectivo seguimiento y rendición de cuentas. Para lograrlo, se ha reunido un grupo multidisciplinario y con capacidades para favorecer un ambiente de colaboración y trabajo en equipo, el cual se integra en las siguientes cuatro subdirecciones:

Subdirección de Vinculación Institucional

Es la encargada de fortalecer los vínculos de colaboración del Instituto para coadyuvar en la toma de decisiones del sector hídrico y ambiental, mediante relaciones con otras instituciones y dependencias de la administración pública, organizaciones académicas, sociedad civil e iniciativa privada. Asimismo, dará seguimiento a los compromisos institucionales y coordinará las acciones, estudios, programas y proyectos impulsados por el Instituto.

Subdirección de Asuntos Internacionales

Dirigirá las acciones y proyectos de cooperación internacional con gobiernos extranjeros y organismos internacionales con objeto de fortalecer la capacidad científica y tecnológica. Para ello, fungirá como enlace institucional para la atención de los asuntos interna-

cionales; establecerá vínculos de cooperación internacional que favorezcan el fortalecimiento de las capacidades institucionales; organizará actividades que promuevan el intercambio de experiencias y mejores prácticas internacionales; dirigirá la gestión de los instrumentos de cooperación internacional ante entidades competentes; dará seguimiento a los proyectos de cooperación bilateral, triangular y regional; atenderá reuniones y procesos de consulta en temas hídricos internacionales; contribuirá en la realización de eventos internacionales en temas de relevancia, y dirigirá la integración de informes y opiniones en relación con foros internacionales.

Subdirección de Inteligencia e Información Tecnológica

Tiene a su cargo dirigir la estrategia institucional del desarrollo y transferencia tecnológica al coordinar los esquemas de transferencia tecnológica y de conocimiento; elaborar análisis de inteligencia tecnológica, proyectos de licenciamiento de tecnología y planes para establecer asociaciones estratégicas de comercialización de tecnología; coordinar la recopilación y análisis de la información de proyectos, programas y actividades de las áreas técnicas del Instituto e impulsar el proceso de mejora continua en materia de gestión de proyectos tecnológicos.

Subdirección de Proyectos Estratégicos

Esta subdirección es responsable de dirigir la planeación, programación y ejecución de proyectos estratégicos para fortalecer el desempeño institucional mediante la formulación, implementación y evaluación de proyectos estratégicos para el Instituto; la coordinación de servicios de asesoría o consultoría del Instituto para el Gobierno federal; impulsar el proceso de mejora continua en materia de gestión de proyectos, y desarrollar iniciativas que favorezcan el cumplimiento de compromisos institucionales.



Voces del agua

Por Emilio García Díaz

Potabilización

Potabilizar viene del verbo latino *potare* (beber), el sufijo *-bilis*, que denota posibilidad, y el sufijo *-izar*, que indica “hacer, convertir en”, por lo que etimológicamente significa “hacer que se pueda beber”.

Si el agua presenta partículas no disueltas, elementos tóxicos, virus o bacterias, entre otros contaminantes, esta requiere ser sometida a algún proceso de potabilización, ya que de lo contrario puede ocasionar enfermedades diarreicas que, en algunos casos, pueden causar la muerte.

Esto se sabía desde muy antaño. Cuatro mil años antes de Cristo, los antiguos pueblos orientales usaban arena y barro poroso para filtrar el agua. En el Egipto de la edad de bronce se dejaba reposar el agua en vasijas de barro durante varios meses para dejar precipitar las partículas e impurezas, y mediante un sifón se extraía el agua de la parte superior (decantación).

Incluso se sabe que usaban un mineral que aún hoy se emplea para el mismo fin —el alumbre— para facilitar la precipitación de partículas suspendidas y clarificar el agua (coagulación). En Grecia, Hipócrates documentó la práctica de métodos de tratamiento del agua, tales como la filtración a través de

carbón, la exposición a los rayos solares (radiación) y la ebullición. En la Roma imperial se instalaban filtros en las fuentes públicas para obtener agua de mayor calidad, y separaban el agua de buena calidad, que se usaba para beber y cocinar, de aquella de menor calidad, que se utilizaba para riego y labores de limpieza.

Actualmente, La potabilización del agua se vale de varias técnicas, entre las que figuran procesos ancestrales, como la ebullición, la floculación y la filtración, y otros más modernos, como la cloración, la ozonización, la radiación, etc. A continuación algunos datos curiosos de los términos que designan estos procesos:

Ebullición

Acción y efecto de hervir, proceso en el cual una sustancia pasa del estado líquido al gaseoso, a través del aumento de la temperatura en la totalidad de la masa líquida. Dentro de este proceso, tiene lugar el apareamiento de burbujas, que suben hasta la superficie, originando vapor.

Esto último explica la etimología de la palabra, que se encuentra en la voz latina *ebullitio*, *ebullitionis*, compuesta del prefijo *ex-* (del interior al exterior) y del verbo *bullire* (soltar burbujas, hervir), proveniente, a su vez, del sustantivo *bullā* (burbuja, bola de aire), que parece ser de origen onomatopéyico, en referencia al sonido “bul-bul” que produce el burbujeo. La misma palabra latina dio origen al inglés *to boil* (hervir).



Sedimentación y decantación (1450 a. C.) (Fuente: H2 O'C Biblioteca de Ingeniería de John T. O'Connor y Tom).



Floculación

Se llama floculación al proceso que se desarrolla al agregar al agua con presencia de sólidos muy pequeños un elemento que produce una aglutinación. Cuando los coloides en el agua entran en contacto con el agente floculador, estos se aglutinan, atrapando a residuos e impurezas, dando lugar a grumos, conocidos como flóculos, los cuales se sedimentan, facilitando así la decantación del líquido y por ende su clarificación.

Este es el método de tratamiento de aguas residuales e industriales que más se utiliza, ya que, efectuado de manera adecuada, puede remover partículas en suspensión, eliminar malos olores, reducir la turbidez y eliminar bacterias presentes en el agua.



El término proviene del latín *flocculus*, diminutivo de *floccus*, de donde deriva 'flocular' (formar grumos, espesar). Existe un posible parentesco con el vocablo *flocces*, que designaba las heces del vino. Aulo Gelio, abogado y escritor romano del siglo II narra: "...*flocces audierat prisca voce significare vini faecem e vinaceis expressam, sicuti fraces ex oleis, idque apud Caecilius in Polumenis legerat*". (Había escuchado la antigua palabra 'flocces', que significa las heces del vino en las copas, como las heces de los aceites, y la había leído en *Hombres a la venta* de Cecilio).



Cecilio Estacio.

En dicha obra de Cecilio Estacio, uno de los personajes dice disgustado: "*At pol ego neque florem neque flocces volo mihi, vinum volo*" (¡Por Pólux*!, ¡no quiero ni la flor ni las heces del vino: vino quiero!).

Quizá se refería, por extensión, a un vino de mala calidad, ya que las heces del vino, conocidas también como fangos, lías, madres o posos, son residuos sólidos, de mayor densidad que el vino, que quedan en el fondo de un depósito o bodega después de la fermentación alcohólica. Estos remanentes están compuestos fundamentalmente de partículas de levaduras, que, habiendo convertido el azúcar en alcohol, una vez muertas, se acumulan junto a otras materias orgánicas, como sales, taninos, restos de semillas y otras partículas. De ahí su asociación con el proceso de floculación.

Si estas "heces" no se retiran adecuada y oportunamente, pueden dar mal olor y sabor al vino; además, están cargadas de microorganismos oportunistas que pueden estropear el vino mediante reacciones químicas que elevan la acidez volátil y modifican otros parámetros.

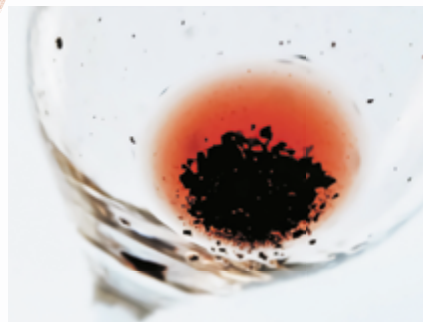
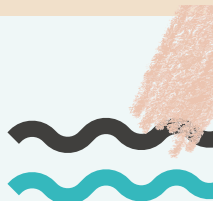
Si bien se trata de residuos, las heces no son deshechos, ya que, gracias a su alto contenido en alcohol, son aprovechables para la elaboración de aguardientes y, más recientemente, se usan como materia prima para la elaboración de cosméticos, dado su alto contenido de taninos (antioxidantes) que precipitan con las proteínas.■

(Continuará)

* Hijo de Zeus a quien se invocaba en las celebraciones con vino.

Fuentes:

Charlton T. Lewis, Charles Short, A Latin Dictionary (<https://alatius.com/ls/index.php>)
www.etimologias.dechile.net
<http://www.elaguapotable.com>
<https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/la-historia-del-tratamiento-del-agua-potable-un-camino-hacia-la-mejora-radical-de-la-salud-publica#:~:text=>
<https://definicion.de/potabilizacion/>
<https://www.significados.com/ebullicion/>
<https://gctratamiento.mx/floculacion-en-aguas-residuales/>
<https://www.agronewscastillayleon.com/que-es-la-floculacion-y-que-usos-tiene-en-el-agua>
<https://www.bodegasmontecillo.com/que-son-las-heces-del-vino/>



Copa con heces de vino.

Tildar o no tildar, he ahí el dilema

Por Emilio García Díaz

“Sólo sé que no estoy solo cuando sé dónde estás...”

El cantautor cubano Carlos Varela escribió esta línea en la canción “Estás”, de su álbum *Siete*, en 2003. De haberla escrito entre 2010 y 2022, hubiera tenido que escribir “solo sé que no estoy solo...”, pero si la escribiera hoy, en 2023, tendría que detenerse a pensar si existe riesgo de ambigüedad y decidir si tildar o no el primer ‘solo’.

Un poco de historia

La regla —que todos aprendimos en la escuela— era que ‘sólo’ (así, con tilde diacrítica, que no acento) era un adverbio, equivalente a solamente o únicamente, y que había que diferenciarlo del adjetivo ‘solo’, que significa en soledad, sin compañía. Sin embargo, como parte de las reformas ortográficas que la Real Academia Española (RAE) estableció en 2010, la tilde tanto de ‘sólo’ como de los pronombres demostrativos éste, ése, aquél, y sus respectivas formas femeninas y plurales, quedaba anulada aun en casos de una posible ambigüedad, aunque señalaba que su uso no se consideraba del todo erróneo en esos casos. ¿Confuso? Un poco.

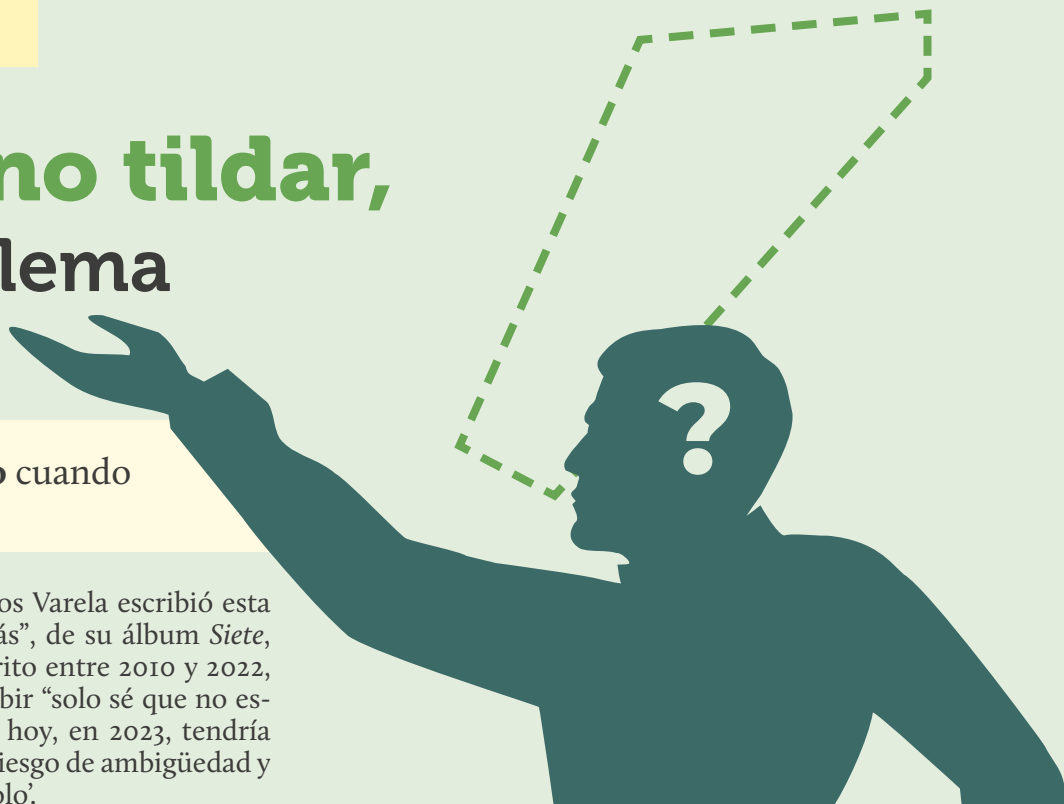
A la letra, la *Ortografía de la lengua española*, de la Real Academia Española y la Asociación de Academias de la Lengua (Madrid: Espasa Libros, 2010), en el apartado 3.4.3.3., señala lo siguiente:

La palabra *solo*, tanto cuando es adverbio (*Solo trabaja de lunes a viernes*) como cuando es adjetivo (*Está solo en casa todo el día*), así como los demostrativos *este, ese, aquel*, con sus femeninos y plurales, funcionan como pronombres (*Este es tonto; Quiero aquella*) o como determinantes (*Aquellos tipos; La chica esa*), son voces que **no deben llevar tilde** según las reglas generales de acentuación, bien por ser bisílabas llanas terminadas en vocal o en -s, bien, en el caso de *aquel*, por ser aguda y acabar en consonante distinta de ‘n’ o ‘s’.

No obstante, las reglas ortográficas venían prescribiendo el uso diacrítico de la tilde en el adverbio *solo* y los pronombres demostrativos para distinguirlos, respectivamente, del adjetivo *solo* y de los determinantes demostrativos, cuando en un mismo enunciado eran posibles ambas interpretaciones y podían producirse casos de ambigüedad, como en los ejemplos siguientes: *Trabaja sólo los domingos* (‘trabaja solamente los domingos’), para evitar su confusión con *Trabaja solo los domingos* (‘trabaja sin compañía los domingos’); o ¿*Por qué compraron aquéllos libros usados?* (‘aquéllos es el sujeto de la oración’), frente a ¿*Por qué compraron aquellos libros usados?* (el sujeto de esta oración no está expreso, y *aquellos* acompaña al sustantivo *libros*)... [por lo que] a partir de ahora **se podrá prescindir de la tilde** en estas formas incluso en casos de doble interpretación.

La frase “se podrá prescindir” dio pie a que muchos dijeran: “Yo seguiré poniéndole tilde a sólo cuando sea adverbio”. No obstante, la RAE añadió en otros medios: “La recomendación general es, pues, la de **no tildar nunca estas palabras**”, arguyendo lo siguiente:

Las posibles ambigüedades pueden resolverse casi siempre por el propio contexto comunicativo (lingüístico o extralingüístico), en función del cual solo suele ser admisible una de las dos op-





ciones interpretativas. Los casos reales en los que se produce una ambigüedad que el contexto comunicativo no es capaz de despejar son raros y rebuscados, y siempre pueden evitarse por otros medios, como el empleo de sinónimos (*solamente* o *únicamente*, en el caso del adverbio *solo*), una puntuación adecuada, la inclusión de algún elemento que impida el doble sentido o un cambio en el orden de palabras que fuerce una única interpretación.

En el ámbito editorial se generalizó la pauta de no tildar nunca solo, este, ese y aquel con el afán de preservar la unidad ortográfica de todos los hispanoparlantes, y esto fue así durante 13 años. Este año, empero, el 2 de marzo, aparecieron en las redes sociales encabezados como estos:

«La RAE devuelve la tilde a la palabra “sólo”»

«La RAE rectifica y devuelve la tilde a solo trece años después»

Los *posts* corrieron como pólvora en cuestión de minutos y al día siguiente eran noticia en los diarios.

Sin embargo, la RAE desmintió la noticia, y el diario *El País* publicó la postura oficial de la Academia:

«La Real Academia Española niega haber modificado la norma sobre el uso de la tilde en solo»

La institución aclara que se trata de “un cambio de redacción” para dejar más clara la opción de tildar el adverbio en caso de ambigüedad, una posibilidad que ya incluía la norma desde 2010».

De manera, que, en esencia, nada cambia. Por falta de espacio, baste decir que en una nueva redacción, la RAE concluye el asunto de esta manera:

- Es obligatorio escribir sin tilde el adverbio solo en contextos donde su empleo no entrañe riesgo de ambigüedad.
- Es optativo tildar el adverbio solo en contextos donde, a juicio del que escribe, su uso entrañe riesgo de ambigüedad.
- Es obligatorio escribir sin tilde los demostrativos este, ese, aquel (y sus femeninos y plurales) en contextos donde su uso no entrañe riesgo de ambigüedad.
- Es optativo tildar los usos pronominales de los demostrativos este, ese, aquel (y sus femeninos y plurales) en enunciados donde, a juicio de quien escribe, su empleo entrañe riesgo de ambigüedad.



En el área editorial del IMTA nos mantenemos a la vanguardia de las normas en materia de redacción, ortografía y gramática, por lo que acataremos estas disposiciones en nuestras publicaciones oficiales, y recomendamos hacer lo mismo a todos aquellos que escriban a título institucional. ■

Tiempo libre

Por Emilio García Díaz

Series, películas, documentales

Thai Cave Rescue

(Rescate en una cueva de Tailandia)



Un equipo juvenil de fútbol y su coach deciden hacer una excursión a una caverna en el parque nacional Tham Luang, en el norte de Tailandia. Entretenidos en su aventura, ignoran que afuera comienza una lluvia torrencial inesperada. En el servicio meteorológico local, una pasante advierte que la llegada del monzón a la región se ha adelantado. Su jefe, un funcionario inepto e irresponsable, la tacha de exagerada y no emite la alerta a tiempo. Demasiado tarde, los 12 adolescentes y su entrenador se dan cuenta de que la cueva se está inundando con rapidez... ¡han quedado atrapados!

Basada en hechos reales, esta emocionante y estremecedora serie da cuenta de cómo la misma lluvia que da vida puede también ocasionar angustia y sufrimiento cuando su fuerza, constancia y copiosidad amenazan la vida humana.

El coraje y la valentía de socorristas que arriesgan sus vidas para salvar otras, el decidido apoyo gubernamental, la des-

interesada solidaridad comunitaria y la expedita ayuda internacional le dan sentido humano a esta historia acaecida en 2018.

Sin embargo, igualmente importantes y protagonistas en este acontecimiento son la espeleología y, sobre todo, la ciencia y la ingeniería hidráulicas e hidrológicas, sin cuyo concurso el desenlace pudo haber sido totalmente diferente.

El famoso suceso ha inspirado varias propuestas filmicas*, pero Netflix, en colaboración con cineastas tailandeses, realizó esta miniserie —filmada totalmente en Tailandia y con actores locales—, que presenta la historia desde la perspectiva de los chicos atrapados en la cueva, sin dejar de mostrar de manera fidedigna y detallada las proezas técnicas hidráulicas e hidrológicas que tuvieron que efectuarse para su rescate. ■

*Entre otras, **Thirteen Lives** (Trece vidas) y **The Cave** (Milagro en la cueva), disponibles en Amazon Prime Video, así como varios documentales disponibles en YouTube (https://www.youtube.com/watch?v=PmB95DqH_PI; https://www.youtube.com/watch?v=-EJFebKEK_k; <https://www.youtube.com/watch?v=-esjQLvsgTs>).



CruciAgua

La temática de la portada de este y los próximos números de El Acueducto es **el agua en sus diferentes estados, en este caso el sólido**. Encuentra en este bloque de hielo las siguientes palabras relacionadas con el agua congelada. Si desconoces el significado de alguna de ellas, recurre al diccionario.

hielo	granizo	iceberg	nieve
carámbano	escarcha	ártico	banquisa
cinarra	congelación	glaciar	iglú
aguanieve	antártico	cellisca	permafrost

COHITSORFAMREPIECBRGECGUZITEUV
 LYVNFMVAVUMVZBHFYUDWOILRPEOXMJO
 NEIVENADLOOCISQAESATJAAEJAGUEK
 AJBXADUDMTÑAIUUMAHANXUNYNVJSEQ
 GCINARRACIANARARERCLIKIZBAPAHN
 BJOEDQAAZACATUPSNEFALUZSQHUHKT
 ZGTEROREQORNXYTEUYESCOLOCEGFU
 AOHAIEIUUKTTWHEILOQKGKHDKIUWSDS
 UOZSEGRUIIDAOPAGUIÑTATUHACWMHY
 EELMSFACSYBRHBEWGKTHKTLHDGOBMG
 JJIHOEONÑAKCEUHLDRUAUQOCZRDSBI
 PGPWBCUÑOBNILÑUREOGOQRNEUTYGIV
 HPLOGDFGEUSTRAEEHQGLAJESATREYI
 HQIAEQNHUYBFAIUZNAJ CZMOC AE CWYV
 WKCGCIOAÑRIEIRBULISBDARUBBUIOU
 UOUJCIUOZANXTUUELZBSLERALXFT
 GAFEXAAPUQLDTTYIUUTUVJCGZTRUDA
 UQNSSJDRAAIUCJHRCMCGNIGUUIVHBD
 SAAEQGCHXOANOÑAAZONIEELRWEEUCS
 USGOQNCAUGCRNIQTDFGZMJGMVCHNYA
 NIINIEYGMVSMGULADASIUQNABSTTEU
 ISAABOHAJÑINEAKXULVMAERKURAOKS
 DTGBIYRGXVLSLKJYPHUMIEOUAAELZO
 AEDMBBSULKLLAUUVKVVRBZRKUNCZEDT
 SNYAMQDAIUEKCGÑFONIEVEICAHITN
 UEERGMONIECUIUWYNOIMIENTAARHKR
 GSIADERICEMDOMYUSEXLJJUTTOYIUS
 JUHCFGOESVDLNOUGALCAIRZUAQUHHA
 UUEKJÑNOVIKAOSOJTVNICLUACIONMEU
 GCOODRIENCONBNKSODSAMESTISETKO



El Acueducto



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA