



# MEMORIA



8º ENCUENTRO  
UNIVERSITARIO  
DEL

# AGUA

INVESTIGACIÓN DE FRONTERA  
PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA

## **Directorio, Universidad Nacional Autónoma de México**

Dr. Enrique Graue Wiechers, Rector

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas, Secretario General

Dra. Mónica González Contró, Abogada General

Dr. Luis Álvarez Icaza Longoria, Secretario Administrativo

Dr. Alberto Ken Oyama Nakagawa, Secretario de Desarrollo Institucional

Lic. Raúl Arcenio Aguilar Tamayo, Secretario de Prevención, Atención y Seguridad Universitaria

## **Comité Directivo, Red del Agua UNAM**

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas, Secretario General

Dra. Guadalupe Valencia García, Coordinadora de Humanidades

Dr. William Henry Lee Alardín, Coordinador de la Investigación Científica

Dr. Jorge Luis Volpi Escalante, Coordinador de Difusión Cultural

Dr. Jorge Vázquez Ramos, Coordinador de Innovación y Transferencia Tecnológica

Dr. Fernando J. González Villarreal, Coordinador Técnico

## **Autores**

Dr. Fernando J. González Villarreal - Coordinador Técnico de la Red del Agua UNAM

M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina - Coordinador Ejecutivo de la Red del Agua UNAM

Mtra. Ana Gabriela Piedra Miranda - Asistente de Investigación

Lic. Fernanda Hoyanna Rosales Ramírez- Becaria

## **Diseño gráfico y fotografías**

Lic. Joel Santamaría García

Lic. Marie Claire Mendoza Muciño

Abril 2020

---

Esta Memoria recupera las conclusiones más importantes de las conferencias magistrales, las mesas de análisis y los talleres que se realizaron durante el 8º Encuentro Universitario del Agua, los días 15 y 16 de octubre en la Torre de Ingeniería del Instituto de Ingeniería de la UNAM.



# MEMORIA



8º ENCUENTRO  
UNIVERSITARIO  
DEL

**AGUA**

INVESTIGACIÓN DE FRONTERA  
PARA LA **SEGURIDAD HÍDRICA**



# Presentación

A principios de la década, la sociedad internacional decidió establecer como una de sus más altas prioridades el alcance de la **seguridad hídrica**. En un ambiente de seguridad hídrica:

1. La población tiene acceso a agua potable en cantidad y calidad adecuadas, a un precio justo para solventar sus necesidades básicas de consumo, saneamiento, higiene y salud. Esta condición favorece su desarrollo integral y le permite hacer valer todos sus derechos humanos.
2. Los ecosistemas son aprovechados de manera sustentable para que puedan seguir brindando sus servicios ambientales, de los cuales dependen tanto las personas como la naturaleza.
3. Existe un adecuado abastecimiento de agua para la producción de alimentos y de energía, así como para la industria, el transporte y el turismo.

4. La población es resiliente a los efectos relacionados con los fenómenos hidrometeorológicos extremos, incluyendo inundaciones, sequías y transporte de contaminantes.

Los desafíos a la seguridad hídrica son múltiples y complejos. Habitamos en un contexto caracterizado por el aumento de la población; la degradación de los ecosistemas; el uso intensivo de energía y materiales para la producción y consumo de bienes y servicios; y la intensificación del cambio ambiental global con impactos de muy diversa naturaleza.

Bajo este contexto, una precondition para transitar hacia un ambiente de seguridad hídrica es el desarrollo de **ciencia de frontera**. La ciencia de frontera nos invita a cuestionar los límites disciplinarios tradicionales y los marcos de pensamiento que han prevalecido durante siglos para proponer hipótesis arriesgadas que desemboquen en grandes descubrimientos.

En sus diez años de existencia, la **Red del Agua UNAM** se ha preocupado por crear un ambiente propicio para el análisis interdisciplinario y la acción intersectorial, desafiando siempre los límites del conocimiento y tendiendo puentes entre actores y sectores para contribuir a la solución de los principales problemas relacionados con el agua.

Por ello, decidimos nombrar a este **8° Encuentro Universitario “Investigación de frontera para la seguridad hídrica”** con el fin de impulsar la agenda hídrica mexicana hacia nuevos horizontes que se discuten ya en los más importantes foros internacionales. Así, durante dos días, académicos, empresarios, funcionarios públicos y miembros de la sociedad civil nos reunimos para analizar temas centrales como: **cambio climático, derecho humano al agua y al saneamiento, nexo agua-energía-alimentos, gestión de acuíferos y su recarga, ciudades sostenibles, interacciones entre aguas continentales y oceánicas, y economía circular en el sector hídrico.**

Organizamos **tres conferencias magistrales, cinco mesas de análisis y cuatro talleres**. Estos últimos con el objetivo de fomentar la apropiación social del conocimiento y de contar con herramientas prácticas que puedan ser implementadas por todos los actores en su vida diaria para hacer un uso más eficiente de los recursos hídricos y sus recursos asociados.

En coordinación con Fundación UNAM, celebramos la presentación de las tesis ganadoras del **Concurso a la Mejor Tesis en Recursos Hídricos**, una iniciativa promovida por ambas instituciones para incentivar a las nuevas generaciones de estudiantes a analizar los recursos hídricos desde todos los campos disciplinares. Nos enorgullecimos en recibir más de 25 trabajos de las cuatro áreas del conocimiento y de contar con la asistencia de las cuatro ganadoras. Gracias a su excelencia académica y al alto impacto de sus resultados, las ganadoras reafirmaron el papel fundamental de las mujeres en la ciencia.

Con la realización del 8° Encuentro Universitario del Agua, la **Universidad Nacional Autónoma de México** se coloca a la vanguardia del conocimiento y la investigación de los recursos hídricos y se consolida como un espacio plural para el intercambio de ideas y solucio-

nes entre todos los interesados en promover un aprovechamiento más sustentable del agua que garantice todos los derechos para todas las personas.

Compartimos estas Memorias esperando sean de utilidad para repensar los cursos de acción que habremos de emprender en el corto y mediano plazo para alcanzar la seguridad hídrica a distintas escalas.



**Dr. Fernando González Villarreal**  
Coordinador Técnico



**M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina**  
Coordinador Ejecutivo



► El Dr. Luis Álvarez Icaza, entonces director del Instituto de Ingeniería, acompañado del Dr. Fernando J. González Villarreal, Coordinador Técnico de la Red del Agua UNAM.



# Contenido

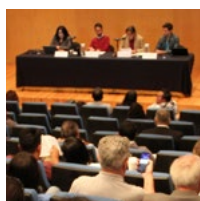
Presentación	4
--------------	---

Conferencias Magistrales	8
--------------------------	---

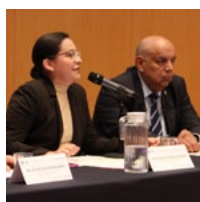


<b>Desafíos para el cumplimiento del derecho humano al agua y al saneamiento.</b>	<b>.9</b>
<b>Impactos del cambio climático en los recursos hídricos</b>	<b>12</b>
<b>Desafíos para la seguridad hídrica en México</b>	<b>15</b>

Mesas de Análisis	18
-------------------	----



<b>Ciudades Sostenibles frente a la Seguridad Hídrica</b>	<b>19</b>
Retos institucionales, financieros y sociales para la gestión integral del agua	20
Capacidades para la gestión integral del agua en una ciudad sustentable	22
Retos tecnológicos: desafíos y alternativas para el manejo del agua en las ciudades	22
Conflictos por el agua	24
Conclusiones	25



<b>Nexo agua-energía-alimentos</b>	<b>26</b>
Nexo agua-energía-alimentos en un contexto de seguridad hídrica	27
Transformación de los sectores alimentarios y energéticos para mejor aprovechamiento de los recursos hídricos	29
Retos del sector hídrico para impulsar el nexo agua-energía-alimentos	31
Conclusiones	34



<b>Economía circular en el sector hídrico</b>	<b>34</b>
La economía circular y su incorporación al sector hídrico	35
Prácticas de economía circular en el sector hídrico	36
Retos económicos, normativos, sociales y tecnológicos para el desarrollo de proyectos bajo el esquema de economía circular	38
Conclusiones	39



**Gestión de acuíferos y su recarga. . . . .40**

Métodos y alternativas para la recarga artificial de los acuíferos .....41

Retos para desarrollar proyectos de recarga artificial de acuíferos en México..... 43

Áreas de investigación para la implementación de proyectos de recarga artificial ..... 45

Conclusiones ..... 46



**Interacción de aguas continentales y oceánicas . . . . . 47**

Oportunidades en el estudio de las aguas continentales y oceánicas ..... 47

Factores antropogénicos en la interacción entre las aguas oceánicas y continentales..... 49

Principales retos de investigación y de política pública para la comprensión de las interacciones entre aguas continentales y oceánicas ..... 50

Conclusiones ..... 52



**Ceremonia de Premiación a la Mejor Tesis en Recursos Hídricos 54**

Factores socioeconómicos y ambientales relacionados con el tratamiento de agua residual a través de la implementación de humedales artificiales acoplados a un sistema de lodos activados ..... 57

La huella hídrica de la economía mexicana en 2008: un análisis de los patrones de consumo ..... 58

Arte, problemáticas ambientales y estética de las mercancías. Overseas (En ultramar), un proyecto de Minerva Cuevas sobre el agua embotellada .....60

Sistemas de monitoreo comunitario de agua para la innovación social.....61



**Conclusiones 64**

# Conferencias Magistrales





# Desafíos para el cumplimiento del derecho humano al agua y al saneamiento

Mtro. Jorge Manuel Hori Fojaco, Director del Área 1 de la Sexta Visitaduría General (CNDH)



► El Mtro. Jorge Manuel Hori Fojaco, de la Comisión Nacional de Derechos Humanos.

Esta intervención tiene como propósito visibilizar los avances, retos y oportunidades en México para el cumplimiento satisfactorio de las obligaciones sobre el respeto, protección y garantía del derecho al acceso al agua y al saneamiento, así como del sexto objetivo de desarrollo sostenible. Para ello se abordarán cuatro temas principales: la situación actual del objetivo 6 de la agenda 2030; las recomendaciones internacionales recibidas por el Estado mexicano en materia de agua;

visualizar los logros y avances en el cumplimiento de las instituciones, y finalmente algunas oportunidades y retos para que nadie quede al margen de este derecho.

Respecto al primer tema, la situación de la agenda 2030 y el objetivo relativo al agua (ODS 6). Este contiene ocho metas relativas al acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible de los servicios de saneamiento e higiene, la mejora de calidad de agua,

la reducción de las descargas de químicos peligrosos y de aguas residuales sin tratar, y la utilización eficiente del agua para hacer frente a las situaciones de escasez. Para el 2020 se plantea proteger y reestablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos. En ese sentido, hay un severo retraso en el cumplimiento de estas metas.

La importancia del agua, como recurso natural y como un elemento vital para el funcionamiento de los ecosistemas, se relaciona de forma transversal con los demás objetivos de desarrollo sostenible y cada una de sus metas. Un ejemplo es la relación del objetivo 1 (fin de la pobreza) con el acceso a los servicios públicos básicos de provisión de agua potable y saneamiento. La medición de la pobreza, realizada por el Consejo Nacional de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), sirve de base para informar el cumplimiento a disposiciones convencionales de derechos humanos, incluido el examen periódico universal (EPU) que sustentó México por última ocasión en noviembre del 2018, y cuyas recomendaciones finales ya fueron emitidas. El CONEVAL establece los lineamientos y criterios para la definición, identificación y medición de la pobreza, utilizando información del INEGI respecto de nueve indicadores, uno de los cuales es el acceso a servicios básicos en la vivienda, que incluye el agua y el drenaje.

En el párrafo 128 del informe nacional que sustentó México ante el EPU, se indica que la población con carencia de servicios básicos se redujo de 21.2 %, en 2012, a 19.3 % en el 2016, equivalente a 1.2 millones de personas. No obstante, hay muchos factores a

considerar detrás de estas cifras. En México, en el año 2015, la cobertura de población con agua entubada en su vivienda fue bastante alta, 94.4 %; pero existe una brecha importante entre las localidades urbanas, con 97.2 %, y las comunidades rurales con 85 %. Además, si se toman en cuenta las cualidades de suficiente, salubre, aceptable y asequible, que por mandato constitucional debiera tener el agua para consumo personal y doméstico, el porcentaje se vería disminuido. Respecto al agua en cantidad suficiente, en nuestro país el 73 % de los hogares con tubería de agua potable cuenta con el servicio de agua diario; 13.9 %, de cuatro a seis días a la semana, y 13.1 % de las viviendas no reciben agua más que dos o menos veces a la semana. Esto implica que hay un porcentaje de la población en situación de vulnerabilidad, lo cual dificulta la satisfacción de sus necesidades básicas de hidratación e higiene. Lamentablemente no existe información sistematizada y de fácil acceso sobre el resto de las cualidades del agua.

Al respecto se ha emitido medio centenar de recomendaciones en materia de agua y saneamiento, por parte de los comités internacionales, recibidas por México en el EPU. Un número importante de ellas derivan del informe del relator especial sobre el derecho humano al agua potable y al saneamiento, quien realizó una visita a México del 2 al 12 de mayo del 2017. De este informe se retoman algunos de los logros, oportunidades y retos identificados en relación con el cumplimiento al derecho humano al agua.

En cuanto a los logros, se han adoptado medidas que contribuyen al cumplimiento de las recomendaciones. Una de ellas es la reforma a la fracción 31 del artículo 32 bis de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, publicada el 30 de noviembre del 2018 en el Diario Oficial de la Federación (DOF). Dicha reforma faculta a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a impulsar acciones para garantizar el acceso de agua para consumo personal y doméstico, así como para apoyar a las autoridades locales y a las organizaciones comunitarias relacionadas con los servicios de agua potable, drenaje, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, mediante el apoyo financiero estatal y federal, ya que actualmente tienen grandes dificultades para cumplir las obligaciones impuestas por el artículo 115 constitucional.

Acerca de las oportunidades y retos, se destaca que el Congreso de la Unión debe cumplir con el artículo tercero transitorio del decreto por el cual se incorporó en la legislación mexicana el reconocimiento del derecho al acceso al agua y al saneamiento, publicado el 8 de febrero del 2012 en el DOF. Este cumplimiento demanda la emisión de la correspondiente Ley General de Aguas, a través de un proceso amplio, plural, incluyente y transparente, con participación y consulta de la población. La ratificación del protocolo fa-

cultativo del Pacto Internacional de Derechos Económicos Sociales y Culturales (DESCA), aún pendiente, permitirá contar con una vía de protección internacional para garantizar el derecho al agua y al saneamiento. Otros desafíos en el marco del cumplimiento de este derecho son:

- Ausencia de normas generales con criterios de asequibilidad para los servicios de agua y saneamiento.
- Falta de provisión del mínimo vital por parte de los organismos operadores de agua.
- Falta de acceso a redes municipales de agua potable en un importante número de comunidades indígenas y rurales en el país.
- Sobreexplotación de acuíferos por falta de vigilancia e inspección de las autoridades.
- Falta de atención a las fugas en las redes de distribución.
- Acaparamiento y utilización de agua para usos no prioritarios.
- Reducción progresiva de presupuesto público federal destinado a facilitar el acceso a los servicios de agua y saneamiento.
- Contaminación de acuíferos por falta de saneamiento de las descargas municipales, industriales y agrícolas.
- Escasa reutilización del agua.
- Falta de actualización quinquenal de las normas oficiales mexicanas (NOM) en materia de salud ambiental y de agua.
- Falta de información accesible sobre el estado de la calidad del agua, redes insuficientes y obsoletas para el monitoreo de la calidad del agua.
- Ausencia de consulta a pueblos y comunidades indígenas, previo a la aprobación de obras o actividades hidráulicas susceptibles de afectarles.

Para cumplir el objetivo 6 y sus ocho metas asociadas, se requiere de un esfuerzo sin precedentes. Asegurar la provisión de agua en cantidad suficiente para el uso personal y doméstico y para la producción de alimentos y otros bienes, incluida la energía y la vivienda para una población en crecimiento, en un entorno económico y social de desigualdad, sujeto a condiciones adversas, debido al cambio climático, la desertificación y el estrés hídrico, constituye un gran reto que requiere de la adopción de medidas legislativas y administrativas apegadas al marco de los derechos humanos.

Entre las recomendaciones emitidas destacan:

- Actualización urgente de las normas de calidad del agua potable, con sustento en las guías y lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- Establecer mecanismos claros de coordinación entre las autoridades estatales, federales y municipales.
- Brindar atención preferente a quienes se encuentran en situación de vulnerabilidad hídrica, a partir de acciones programático-presupuestales progresivas.
- Medir y evaluar la implementación de las políticas públicas, a través de indicadores que abarquen el contenido normativo de los derechos al agua y al saneamiento, así como su transversalidad con múltiples derechos humanos como la vivienda, alimentación, medio ambiente y salud.
- Incrementar las inversiones en el sector, acompañadas del fortalecimiento de los mecanismos de transparencia activa y rendición de cuentas.
- Prevenir el deterioro de la infraestructura, a través de inversiones para su operación y mantenimiento.
- Garantizar la libertad de expresión, de reunión y de asociación, en relación con cuestiones hídricas, asumiendo la protección de las personas defensoras del derecho al agua y al saneamiento.
- Educación y cultura del agua, así como la sensibilización pública mediante el acceso público a la información.


Finalmente, entre las recomendaciones relacionadas, emitidas por la CNDH, se consideran las siguientes:

- La recomendación 37/2012, relacionada con el trasvase de agua, efectuado sin proceso de consulta previo en territorio yaqui, en el estado de Hermosillo.
- La recomendación 10/2017, relacionada con la contaminación por las descargas descontroladas de índole industrial y municipal en los ríos Atoyac y Xochiac, en Puebla y Tlaxcala.
- La recomendación 11/2018, por la transmisión irregular de un título de concesión para el aprovechamiento de aguas nacionales, otorgado originalmente a favor de una unidad de riego afectada por sequía en Zacatecas.
- La recomendación 47/2018, relacionada con la contaminación de pozos que abastecen el uso personal y doméstico de agua, debido a la inadecuada gestión de

residuos sólidos urbanos y de manejo especial, en el municipio de Coyuca de Benítez, en Guerrero.

- La recomendación 82/2018 relacionada con la violación de derechos humanos, incluido el acceso al agua salubre, por el incumplimiento a la obligación general para restringir el uso de plaguicidas de alta peligrosidad en agravio de la población mexicana.
- La recomendación 56/2019 relacionada con la contaminación del sistema ripario por descargas de aguas residuales municipales no controladas y por la inadecuada gestión de residuos sólidos urbanos, en los municipios de Atoyac de Álvarez y Benito Juárez, en Guerrero. Esta recomendación, dirigida a la CONAGUA, destaca la solicitud para incluir en el Programa Nacional Hídrico líneas de acción específicas para el fortalecimiento de los organismos operadores de agua y saneamiento de los municipios, así como la inclusión de objetivos que fortalezcan el acceso a los servicios públicos de alcantarillado, drenaje y saneamiento eficiente, tanto para comunidades urbanas como rurales.

Los servicios del agua son una atribución municipal, prevista en el artículo 115 constitucional, por lo cual las recomendaciones deben estar orientadas a las comisiones estatales. Estas se hacen en el marco de una insuficiente actuación de las autoridades encargadas de la inspección, la instauración de procedimientos y la imposición de medidas de mitigación, restauración y sanciones en el sector hídrico.

Además de las recomendaciones, la CNDH ha elaborado algunas publicaciones sobre el cambio climático y derechos humanos; derecho humano al agua y al saneamiento; biodiversidad y derechos humanos; ciudades sostenibles y derechos humanos; la protección de ríos lagos y acuíferos desde la perspectiva de derechos humanos. También, se cuenta con un portal enfocado al derecho humano al agua de acceso público. 



► Durante la sesión de preguntas en la conferencia: “Desafíos para el cumplimiento del derecho humano al agua y al saneamiento”.

# Impactos del cambio climático en los recursos hídricos

Dra. María Amparo Martínez Arroyo, directora general del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.



► La Dra. María Amparo Martínez Arroyo, Directora del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

El agua y la hidrosfera son elementos fundamentales del sistema climático. Los dos grandes fluidos del planeta, la atmósfera y la hidrosfera, están profundamente relacionados y son el motor termodinámico, por lo cual el clima depende en gran parte de la distribución, calidad y abundancia del agua en la Tierra. Los impactos del cambio climático tienen repercusión directa en el agua; su disponibilidad y sus usos estarán severamente afectados. Un aumento en la temperatura propicia-

ría mayor evaporación de los cuerpos de agua superficiales y cambios en los patrones de precipitación; los fenómenos hidrometeorológicos por cambio climático son un gran riesgo para la sociedad y para los ecosistemas. Bajo estas consideraciones, es fundamental comprender el contexto climático actual.

En esta época los científicos acudimos a los hechos para abordar los objetos de investigación que estamos analizando.

Utilizando una analogía, si fuéramos un médico y tuviéramos que hacer un diagnóstico sobre el planeta, tendríamos que tomarle los signos vitales; estos podrían sintetizarse en los siguientes datos: La concentración de dióxido de carbono de 408.4 ppm, reportada en octubre del 2019, aun cuando el límite indicaba 350 ppm; la presencia de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se ha incrementado potencialmente desde la década de los años 50 del siglo XX. En el 2018, la temperatura global aumentó 0.82°, con respecto a la temperatura anual promedio de la época preindustrial. Por su parte, la masa antártica ha disminuido a gran velocidad anualmente. El aumento en el nivel del mar, estrechamente relacionado con la criósfera, es decir, las partes de superficie de agua congelada en el planeta, tiene una velocidad que se calcula en 3.3 mm por año, con una disminución del hielo marino ártico del 12.8 % por década. Todos estos fenómenos son los signos más visibles del cambio climático, pero evidentemente no son los únicos.

Después de la publicación de la obra “Los límites del crecimiento en la década de los setenta”, se estableció una preocupación sobre los límites relacionados con la utilización de los recursos planetarios. En el 2009 se publicó un trabajo basado en el concepto de los límites físicos de un grupo dirigido por Rockstrom, titulado “Los límites planetarios”. En este texto se presentan nueve límites planetarios; la humanidad no podría seguir desarrollándose si éstos son rebasados. A la fecha se han traspasado prácticamente cinco de ellos: los flujos biogeoquímicos de nitrógeno y de fósforo, los cambios en el uso de suelo, la integridad de la biósfera, cambios de funcionalidad y diversidad genética, y el cambio climático, cuyo límite era 390 ppm de CO<sub>2</sub> y se encuentra en 408 ppm. Este esquema resulta muy útil para comprender en qué medida se han rebasado esos límites y, con ello, plantear la oportunidad de generar medidas de adaptación mediante el reconocimiento de las nuevas



condiciones. En la historia más reciente se han implementado estrategias políticas para mitigar los efectos del cambio climático, una de las más populares son los acuerdos de París, particularmente. México se encuentra adscrito a estos acuerdos y ha adquirido compromisos específicos.

En el último año, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático solicitó al Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) tres reportes especiales. El primer estudio fue publicado en octubre del 2018; en este se analizaron las posibilidades para limitar el aumento con respecto a la temperatura preindustrial a 1.5 para el 2100. Se contrastaron dos escenarios para observar si existía una diferencia significativa entre un aumento de 1.5° o 2° en la temperatura global; con base en esta evidencia se inició un proceso de negociación para que en los acuerdos de París se estableciera un límite inferior a los 2°, especialmente por la vulnerabilidad de los países ubicados en islas altamente pobladas, ya que se predice la desaparición total o parcial de sus territorios. En este mismo reporte se indica que es posible limitar este calentamiento en términos físicos, químicos y biológicos, pero se requieren medidas sociales transformacionales para lograrlo. Tenemos un lapso muy corto para que las medidas de adaptación surtan efecto; se calculaba que para el 2030 se tendrían que limitar los impactos más sustanciales del cambio climático, ya que después de esa fecha muchas regiones llegarán a puntos de no retorno en procesos biológicos, químicos y físicos.

El segundo reporte, publicado en agosto del 2019, se enfoca en el manejo de la tierra, la alimentación y el avance de la desertificación en los continentes. En el tema de seguridad alimentaria hay buenas noticias para México, porque tiene una gran cantidad de recursos naturales, diversidad biológica y cultural, que son herramientas para la mitigación y la adaptación al cambio climático. Un mejor conocimiento de nuestros recursos, así como del manejo de la tierra para la producción de alimentos, nos podría ayudar a entender la forma en que podemos frenar el proceso de desertificación. Nuestro país tiene una gran región árida o semiárida y existe un gran potencial para realizar una conversión profunda sobre el manejo de la tierra, así como de los sistemas productivos y de los residuos que resultan de ellos. Estos cambios podrían beneficiar a las generaciones futuras, al tiempo que ofrecen bienestar a las generaciones presentes.

El último reporte está dedicado a la hidrósfera, los océanos y la criósfera. La disminución de los glaciares potencia los efectos del aumento en la temperatura, porque en lugar de reflejar la radiación la absorbe. La presencia de los glaciares es una variable de especial atención en la relación entre la disponibilidad del agua y el calentamiento global; se indica que el 70 % de la superficie de nuestro planeta estará afectada por el cambio climático. Anteriormente, en el

marco del desarrollo industrial, se pensaba que la solución a la contaminación era diluir los residuos, como ya no eran visibles entonces no persistían los problemas. En la actualidad sabemos cuáles son las consecuencias de esas actividades, y existen opciones tecnológicas para solucionar algunas de esas situaciones, pero deben acoplarse al lugar y a las condiciones de cada región. Por ejemplo, los problemas del agua oceánica están relacionados con las descargas que provienen desde las ciudades hacia los mares; entonces se requiere pensar en el tratamiento del agua continental para evitar mayores daños a las aguas oceánicas.

En el INECC se está trabajando el inventario de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero a través del funcionamiento de cada sector. Entre el 2016 y 2017 notamos un incremento de los gases emitidos por la generación de energía eléctrica, una de las medidas de mitigación planeadas era la generación de energía en hidroeléctricas, la cual no se pudo llevar totalmente a cabo debido a la sequía; ese déficit se cubrió con generación eléctrica con base en gas y combustóleo.

Cuando se hace la planeación de los recursos hídricos es necesario considerar cierto grado de incertidumbre en los procesos meteorológicos relacionados con el cambio climático. Es un problema que se transforma conforme a las decisiones y acciones que se emprendan como sociedad. Se están planteando alternativas para resolver las necesidades humanas; por ejemplo, en lugar de grandes hidroeléctricas o presas, promover mini-eléctricas considerando la ubicación en la que podría ser instalada.

Sobre los desafíos de la agenda 2030, relacionados con el objetivo 6 del desarrollo sostenible, concerniente al agua limpia y al saneamiento, se presentan retos complejos. Para el cumplimiento de esos objetivos es prioritario garantizar la disponibilidad de agua y la gestión sostenible de los ecosistemas, porque la mayoría de los objetivos son transversales al tema del agua y del clima. Por ejemplo, aquellos relacionados con la pobreza, hambre, desigualdades, inequidad de género, entre otros. Enfatizando en el tema del género, es sabido que en varias regiones de México y del mundo las encargadas de conseguir el agua y de administrarla son mujeres, especialmente en el medio rural; ellas pueden influir positivamente en los usos, manejo y cuidado de los recursos hídricos.

México es un país altamente vulnerable ante los efectos del cambio climático, ocupa la posición 12 en términos de emisiones globales. Estamos dentro de los primeros 20 países más contaminantes. Sin embargo, los primeros diez países producen cerca del 75 % de esos gases; en ese sentido no somos grandes productores, pero somos altamente vulnerables. En primera instancia porque vivimos entre dos océanos y un mar interior (el Golfo de California o el mar





► La Dra. María Amparo Martínez Arroyo responde a las preguntas de los asistentes.

de Cortés), estamos vulnerables a fenómenos hidrometeorológicos extremos: sequías en la parte media de nuestro territorio, entre nuestras dos grandes sierras o cordilleras, y en otra zona se presenta la formación de ciclones o de huracanes, dependiente de la temperatura de los mares. Dos tercios del escurrimiento superficial del país ocurren en siete cauces de ríos altamente contaminados; tenemos 757 cuencas para la administración de aguas superficiales. Actualmente, la CONAGUA y otros actores involucrados con el sector hídrico están tratando de implementar un enfoque de cuencas.

Este enfoque contribuye en gran medida al ahorro de recursos económicos, porque permite organizar mejor las intervenciones. Por ejemplo, en la restauración de manglares se hacían grandes inversiones en la zona costera, aun cuando no se había hecho la reforestación en la parte alta de la cuenca, no había una planeación correcta de las intervenciones, no se consideraban los efectos de las próximas lluvias o el desvío de las aguas para actividades agrícolas.

Actualmente, cada uno de los sectores relacionados con los recursos hídricos debe mantener una buena comunicación y mayor coordinación bajo un enfoque que permita reducir algunos de los impactos del cambio climático en México. Algunos de los problemas que ya se tienen identificados son la pérdida de biodiversidad, directamente relacionada con la pérdida de los caudales ecológicos. Un caso es Cuatro Ciénegas, donde la presencia de biodiversidad está relacionada con el manejo del agua.

Retomando el tema de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, se han obtenido modelos, considerando el cambio climático, en los que se observa un incremento en la frecuencia de huracanes mayores a categoría tres. La elevación de la temperatura superficial del mar y los aumentos en el nivel del mar incrementan la vulnerabilidad hídrica. No obstante, tenemos muchas posibilidades de adaptación; existen culturas para el manejo del agua que podemos recuperar en estados como Yucatán, en Sonora, en Michoacán,

que cuentan con ciertas experiencias de cientos de años en el manejo del agua. En lugar de invalidar esos conocimientos, el papel de la ciencia debe ser fortalecerlos e incidir en la infraestructura.

Se ha elaborado una serie de modelos en los que se expresa el impacto del incremento de 2° en la temperatura en el agua. Se estableció un escenario base; y, a partir de este, otros modelos. En aquellos donde la tendencia del aumento de la temperatura continúa, sin tomar medidas de adaptación, son los de mayor vulnerabilidad hídrica. En los escenarios de adaptación media y alta, en los que se adoptan medidas estratégicas para evitar el aumento de la temperatura global, es evidente una reducción de la vulnerabilidad. Vivimos en un país heterogéneo, donde no existen soluciones únicas para los problemas hídricos. Es indispensable analizar el contexto de cada región y tomar medidas adaptativas, como la captación de agua de lluvia o el manejo de cuencas para sobrellevar los efectos del cambio.

Acerca de los usos del agua en México, tenemos un gran volumen concesionado para usos consuntivos: el 76 % es agrícola; no obstante, en este sector hay un gran desperdicio, por lo que se requiere establecer medidas de eficiencia de los recursos hídricos y de la energía.


Tenemos tres grandes áreas de oportunidad para lograr la adaptación al cambio climático. La primera es la adaptación basada en ecosistemas, relacionada con la recuperación de manglares en las zonas de huracanes y la captura de agua de lluvia, porque sabemos que existirá un cambio en los patrones hidrológicos; podemos anticipar que en el norte del país habrá sequías con mayor duración, y en el sur se presentarán serios problemas de disponibilidad de agua.

En segundo lugar, tenemos adaptaciones en los marcos legales y en las estrategias de gestión de los recursos hídricos. En el diseño de políticas públicas es indispensable responder a las necesidades de conocimiento en torno al cambio climático, para ofrecer las retroalimentaciones que nos permitan cambiar las prácticas con respecto al manejo integrado de cuencas. Sobre este tema, se propone un plan de manejo integral de las cuencas hídricas, considerando las sinergias con elementos biofísicos como la vegetación, los bosques, las montañas y otros elementos ecosistémicos, ya que estos son clave para disminuir la vulnerabilidad hídrica. En este sentido, deben integrarse los servicios ambientales en términos hídricos para garantizar el bienestar socioeconómico de las comunidades.

La tercera forma de adaptación es diseñar mecanismos innovadores para el manejo del agua, incorporando los métodos tradicionales en el territorio e implementando un enfoque de cuencas. En muchas regiones del país encontramos

un manejo de cuencas bastante ancestral, pero limitado por cuestiones políticas que han impedido una organización territorial más eficiente.

Como conclusión podemos afirmar que contamos con las herramientas necesarias en el sector hidráulico en México, pero nos enfrentamos a una excesiva sectorización. Necesitamos una visión interdisciplinaria para responder a los problemas que se avecinan en el escenario del cambio climático,

por lo cual se requieren químicos, biólogos, ingenieros, médicos, abogados, urbanistas y planificadores, entre muchos otros profesionistas, para abordar la complejidad de los problemas hídricos. Este fenómeno potenciará problemas sociales y ambientales que ya tenemos; se presenta como una gran amenaza y contamos con poco tiempo para solucionarlo. Tenemos la oportunidad de cambiar el rumbo a partir del conocimiento para la toma de decisiones, lo cual implica una enorme responsabilidad. 

## Desafíos para la seguridad hídrica en México

Dr. Heber Eleazar Saucedo Rojas, gerente de Aguas Subterráneas de la CONAGUA



► El Dr. Heber Eleazar Saucedo Rojas, de la Comisión Nacional del Agua.

reto engloba la idea “Agua para todos”; en este asunto en particular se busca eliminar la competencia entre los usos del líquido para garantizar el derecho humano al agua. El caso más conocido es el de la agricultura, que copta el 77 % del agua en el país, por lo cual es el mayor consumidor, pero no tiene un uso eficiente del recurso, lo que representa una importante área de oportunidad para mejorar el riego por gravedad, que actualmente ocupa el 90 % de la superficie de México, para ahorrar millones de metros cúbicos de agua y transferirlos a otros usos, como el suministro de agua potable, así como para la industria, la recreación y el turismo. El último reto está relacionado con los fenómenos hidrometeorológicos, de forma que se busca hacer frente a las sequías, inundaciones y frentes fríos a través de medidas de prevención.

La estrategia de la CONAGUA para atender esos desafíos de seguridad hídrica consta de tres ejes:

1. Administración transparente y ordenada de las aguas nacionales.
2. Abastecimiento de agua en bloque, tanto para el consumo humano como para la agricultura.
3. Acción y protección a la población ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Sobre el primer eje, para lograr un avance significativo contra la corrup-

La CONAGUA ha identificado algunos desafíos para lograr la seguridad hídrica en el país y se propone implementar las medidas para solucionarlos. En esta intervención se abordan tres retos estratégicos para conseguir ese objetivo.

El primero es el tema de la transparencia en los esquemas institucionales, ya que la política de la nueva administración federal es *cero corrupción*, por lo que se requiere un compromiso para lograr la transparencia. El segundo

ción se requiere una administración transparente y ordenada del agua. En este caso la CONAGUA tiene dos acciones estratégicas: la primera es el Registro Público de Derechos del Agua (REPD), portal al que todos los ciudadanos pueden ingresar para conocer la información sobre los títulos de concesión por cada cuenca o acuífero; se está trabajando para hacer una base de datos cada vez más accesible y con mejor interacción entre la interface del portal y los usuarios. El propósito es facilitar la información a los ciudadanos y eliminar las trabas burocráticas para el acceso a los datos (monitoreo de la calidad de las aguas nacionales, niveles y sistema de seguridad de las presas, piezometrías de los acuíferos). Las decisiones más importantes, respecto al manejo de la infraestructura hidráulica del país, se transmiten a través de Facebook. El Comité Nacional de Grandes Presas, que tiene más de 20 años operando, ahora está sesionando cada martes para tratar aspectos sobre la operación de las presas en el país, las predicciones del Servicio Meteorológico Nacional y el estado de los almacenamientos de las presas de la nación. La segunda estrategia es un sistema de trámites electrónicos (CONAGUA en línea); esta plataforma permitirá un debido seguimiento sobre los títulos de concesión, los dictámenes técnicos y otros trámites. La idea no es atacar a los usuarios, sino resolver los problemas de corrupción e ineficiencia de los trámites al interior de la CONAGUA.

Para atender el segundo eje, bajo un enfoque de apego al derecho humano al agua, establecido en la Constitución Mexicana, el 1 de julio del 2019 se publicó un decreto de facilidades administrativas sobre el derecho humano al agua. En este documento se establecen facilidades para el otorgamiento de concesiones para uso doméstico y público urbano, y se garantiza un volumen mínimo de 100 litros por habitante por día, para atender necesidades domésticas como aseo, higiene personal y consumo. Con este mandato la CONAGUA se compromete a que, si hay un acuífero o una cuenca sobreexplotada, pero existe una población que requiera acceso al agua, se le va a dar la concesión; con ello se busca garantizar ese otorgamiento de título de concesión, siempre y cuando sea de agua potable para uso doméstico. La CONAGUA deberá comprometerse a generar acciones que permitan, de alguna manera, restituir ese volumen a las cuencas y a los acuíferos.

Dentro de este mismo eje tenemos algunas estrategias para abordar el tema de “Agua para Todos”, a través del establecimiento del agua en bloque, con fines de agricultura y de agua potable; cada rubro cuenta con un presupuesto y algunos apoyos financieros estratégicos a través del programa de apoyo a la infraestructura agrícola. De esa manera, mediante esas inversiones en la modernización de la infraestructura de riego agrícola, se fomenta el buen uso del agua en la agricultura. En el caso del agua potable se diseñó el programa PROAGUA, el cual destina su presupuesto a




► El Dr. Heber Eleazar Saucedo Rojas durante su conferencia.

distintas áreas, como el sector urbano y rural, agua limpia (desinfección), plantas de tratamiento y proyectos para garantizar la sustentabilidad operativa y financiera de los organismos operadores. Con estos programas se busca asegurar la continuidad de abastecimiento de agua en dos sectores prioritarios.

El último desafío está relacionado con generar acciones de prevención ante los eventos hidrometeorológicos extremos, principalmente inundaciones y sequías, los cuales tienen lugar en nuestro país por sus propias condiciones geográficas. El desierto abarca un 60 % de la superficie total del territorio, lo cual tiene manifestaciones directas en el clima. Por el lado de las inundaciones, el país es vulnerable a la presencia de fenómenos como ciclones tropicales y huracanes, que, si bien llenan las presas en temporada de lluvias, y contribuyen a la recarga de los acuíferos, dos terceras partes del agua de la que disponemos provienen de la ocurrencia de esos fenómenos y solo una tercera parte del esquema rutinario de precipitación. La distribución del volumen de los recursos hídricos del país no es homogénea en el norte y centro del país, que tienen el 75 % del territorio, el 77 % de la población y el 83 % del PIB, pero solo disponen de la tercera parte de los recursos hídricos; mientras que en el sur-sureste, donde está el 25 % del territorio, el 23 % de la población y el 17 % del PIB, se cuenta con dos tercios de los recursos hídricos del país. Es necesario desarrollar proyectos estratégicos en esta región para hacer un aprovechamiento sostenible de estos recursos. Por el lado de la sequía, en el último año no ha llovido lo que se esperaba; por tanto, no se han almacenado en las presas los volúmenes de agua que usualmente se tienen disponibles para la agricultura y para abastecer de agua potable a la población.

Con el fin de atender estos fenómenos, hay una Comisión Intersecretarial en la que participan SEMARNAT, SEDENA, SEGOB, SEMAR, SAGARPA, SHCP, SEMER, SCT y Economía; la labor de esta comisión es generar las políticas de contención de desastres ante los eventos de sequía e inundaciones; por ejemplo, se están promoviendo modificaciones

en el esquema del Fondo para la Atención de Emergencias (FODEN), con el fin de facilitar el acceso a los recursos, de manera justificada y oportuna. También hay una red hidrométrica y climatológica en el país, que contribuirá a formar una red de medición automática de las aguas nacionales, la cual busca integrar la medición de las aguas superficiales y de las subterráneas, así como de la calidad del agua. La información que resulte de esos instrumentos estará disponible para toda la sociedad. También se ha mejorado el Atlas de Peligros de Inundación; se han generado más de 100 programas contra contingencias hidráulicas y se cuenta con un Programa Nacional contra la Sequía, en el que se establecen las medidas preventivas y de mitigación ante este fenómeno. Además, se han actualizado 50 políticas de operación en presas de vertedor controlado y 146 de vertedor libre. Tenemos la visita del avión cazahuracanes, desde 1998, exceptuando 2001 y 2013, instrumento que nos ayuda a medir las bandas nubosas, calcular su ubicación exacta y la velocidad de sus vientos. Con estos datos es posible alertar a la población durante la temporada de ciclones. En un resumen de la temporada de huracanes del 2019, sobre el estado actual de los almacenamientos, se observaron 14 eventos en el océa-

no Atlántico y 19 en el Pacífico. Se da seguimiento puntual a los escurrimientos que generan los eventos hidrometeorológicos extremos, se documentan acumulamientos de manera sistemática, se realizan los hidrogramas correspondientes para su análisis, se hace la evolución de los almacenamientos de los vasos, y se prevé la interacción de esos almacenamientos con el NAMO de estiaje y el de lluvias, así como con el NAME. Adicionalmente hay un pronóstico de frentes fríos en la zona norte del país, donde se presentan lluvias de invierno. Con respecto a los almacenamientos en presas, se registra la información por cada organismo de cuenca; la cantidad de almacenamiento promedio anual corresponde a 91,270.8 hm<sup>3</sup>. El total almacenado hasta el 14 de octubre del 2019 fue de 80,733.31 h<sup>3</sup>, por lo cual se observa un déficit de 10,537.5 hm<sup>3</sup> en el país, situación que puede derivar en presiones sociales, políticas y económicas, especialmente donde existen presas dedicadas a la agricultura. En suma, debemos estar preparados para un escenario de déficit de recursos hídricos y establecer estrategias para fomentar el buen uso del recurso e intentar padecer menos los problemas que implica este escenario. 







# Mesas de Análisis

---



# Ciudades Sostenibles frente a la Seguridad Hídrica



► De izquierda a derecha: La Dra. Patricia Ávila, el Mtro. Martín Montañana, el Dr. Javier Delgado Campos, y el Mtro. Arturo Ramos.

En la mesa de análisis *Ciudades Sostenibles frente a la Seguridad Hídrica*, moderada por el Dr. Javier Delgado Campos, director del Programa Universitario de Estudios Sobre la Ciudad (PUEC), se dieron cita la Dra. Patricia Ávila García, investigadora del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES), el Mtro. Arturo Ramos Bueno, estudiante del Posgrado de Geografía UNAM y, el Mtro. Delfín Montañana, director de Educación Socioambiental de Isla Urbana. Este

espacio de diálogo fue organizado en coordinación con el *Coloquio Agua para una Ciudad Sostenible* del PUEC.

La urbanización es uno de los hechos más importantes del siglo XXI, un verdadero reto para la gestión de los recursos hídricos. El funcionamiento de las ciudades demanda grandes cantidades de materia y energía y son productoras exponenciales de residuos. Este principio se aplica para el agua, ya que, por un lado, por la aglomeración

de la población, las actividades económicas y la oferta de servicios que existen en el espacio urbano, hay un uso intensivo de los recursos hídricos; por otro lado, se generan grandes volúmenes de aguas residuales que son transportadas fuera de las ciudades y provocan riesgos para otras poblaciones.

El uso, disponibilidad y saneamiento son temas medulares para la gestión de las aguas urbanas, considerando que la ONU prevé que más del 70 % de la población mundial vivirá en ciudades en el 2050. A esto se agrega la limitada disponibilidad de los recursos hídricos en las urbes, el encarecimiento de los servicios y las alteraciones al ciclo hidrológico por el cambio de uso de suelo y la deforestación en las ciudades. En el escenario del cambio climático también debe tomarse en cuenta los efectos de los eventos hidrometeorológicos, ya que un gran porcentaje de las ciudades más densamente pobladas se encuentran en zonas costeras.

Los esquemas político-administrativos para el manejo del agua se tornan insuficientes ante la complejidad del fenómeno urbano, las escalas de gestión son cada vez más amplias e interdependientes. Pocas veces se consideran en los sistemas de regulación jurídica los elementos hidrológicos y geológicos de las fuentes de provisión, tanto internas como externas.

Ante este panorama, es evidente la necesidad de un nuevo modelo de ciudad que funcione a partir del principio de la sustentabilidad, en el cual se haga un uso eficiente de los recursos hídricos; se desarrollen capacidades institucionales para un manejo integrado del agua, y se pueda garantizar el derecho humano al agua. Este modelo requiere la coordinación entre muchos sectores y diferentes niveles administrativos, así como cambios profundos en los sistemas de operación para lograr una distribución equitativa de los recursos hídricos urbanos, sin transferencias de riesgos a otras regiones.

Considerando esta realidad, en la mesa *Ciudades Sostenibles frente a la Seguridad Hídrica* se analizaron los principales desafíos relacionados con el uso, disponibilidad y saneamiento del agua en las ciudades, así como las propuestas para transitar hacia un modelo de ciudad sustentable en relación con la gestión de los recursos hídricos.

## Retos institucionales, financieros y sociales para la gestión integral del agua

### Mtro. Arturo Ramos Bueno

El principal reto en México es atender la demanda de agua de la población; para ello es imprescindible conocer la cantidad de agua utilizada por los habitantes y usuarios de la Ciudad de México. Es pertinente considerar las capacidades de tipo técnico y de tipo espacial. Debemos anticipar que no todos los habitantes consumimos las mismas cantidades, lo cual conlleva el reto de balancear la demanda con la oferta del agua.

Desde la academia podemos apoyar a los tomadores de decisiones a través de la comprensión de estos dos tipos de capacidades, para contribuir al diseño y establecimiento de políticas públicas. En la actualidad en nuestro país somos 92 millones de habitantes urbanos, entonces el reto es enfocarse en la comprensión del ambiente urbano y de su infraestructura para la vivienda.

De acuerdo con información provista por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), el centro de esta ciudad es una de las zonas que más consume agua, pero a la vez tenemos el problema de que es el área donde se tienen menos medidores instalados. Por otra parte, los lugares con mayor índice de desarrollo social son los que más consumen este recurso.

En general, debemos comprender de manera integral la gestión del agua, entendiendo la manera en que usamos el recurso para construir diferentes andamiajes institucionales que tengan un curso definido hacia la sustentabilidad hídrica.

### Mtro. Delfín Montañana

Hablar de los retos institucionales, financieros y sociales es un tema complejo porque deben considerarse las distintas escalas territoriales: la urbana, metropolitana y regional. Desde mi experiencia en el área de la educación, en la sociedad nos educamos para poder transformar la realidad en la que vivimos. Por tanto, es necesario construir en cada una

de dichas escalas una comprensión colectiva de las particularidades del lugar en el que vivimos.

Lo anterior se encuentra intrínsecamente relacionado con la noción de habitabilidad de esta urbe. Debemos comprender de forma integral el proceso de transformación de la cuenca de Anáhuac (topónimo que designa al Valle de México, formado de *alt=agua* y *nahuac=rodeado*), un sistema con abundancia de agua en uno con escasez; la comprensión del funcionamiento integrado de sus componentes geológicos, hidrológicos, social, y otros elementos, deben estar estrechamente relacionados con nuestra demanda y consumo.

Para generar soluciones ante los problemas de los recursos hídricos es necesario que los actores sociales trasciendan de sí mismos y funcionen como una sola entidad que cohabita en este lugar. Construir una noción de especie en el ámbito espacial, permitiría trabajar los retos institucionales y financieros, desde una plataforma donde el entendimiento compartido permite alinear las voluntades en un solo esfuerzo.

Sobre la cuenca tenemos mucha información y datos numéricos, pero no suficiente acerca de los acuíferos, la cantidad de lluvia y el uso de esa agua. Es decir, la información no se encuentra integrada en un sistema coherente que ayude a la intelección de lo que está sucediendo. Se requieren grandes esfuerzos para generar un sistema de educación compartido y colectivo, que permita alinear la manera en que pensamos desde los distintos sectores, en búsqueda de un bien común.

### Dra. Patricia Ávila García

En primera instancia, respecto a los retos sociales debemos considerar que la ciudad es un espacio diferenciado socialmente, donde se presentan contrastes sociales respecto a la población que carece de los servicios públicos básicos como



► Dra. Patricia Ávila García, investigadora del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES).

agua, drenaje y saneamiento. Esta discusión se enmarca en el derecho a la ciudad.

En una ciudad segregada, el acceso al agua también se hace diferencial, por lo cual se presentan injusticias hídricas, debido a que la distribución del agua se hace de manera inequitativa, en función de estas desigualdades sociales. De ese modo se afectan derechos humanos potenciales, no solo aquellos relacionados con la cantidad del agua, sino con la calidad del recurso. Por ejemplo, en varias ciudades del país se está dotando de agua con problemas severos de contaminación; como consecuencia, se afectan las condiciones del hábitat urbano y se ignora el derecho a un medioambiente sano.

En la escala metropolitana existe una diferenciación en la gestión de los espacios urbanos y rurales. Esto en el ámbito del agua conlleva injusticias hídricas por el control y manejo del recurso, especialmente de las aguas urbanas y comunitarias que están relacionadas con el derecho al agua, pero también con los derechos de los pueblos al control de sus fuentes y recursos. En ese sentido, también se presentan escenarios de injusticia ambiental porque los ríos, cuerpos de agua y ecosistemas están deteriorados.

En el ámbito regional, el concepto de *ciudad sostenible* está asociado con las contradicciones campo-ciudad. Una ciudad sostenible se mantiene gracias al campo, por los intercambios de alimentos, de agua y de otros factores indispensables para el funcionamiento de las urbes; es indispensable trascender estas contradicciones campo-ciudad. Al mismo tiempo es necesario superar la dicotomía entre sociedad-naturaleza, porque esto permitiría la comprensión de que la ciudad no es sostenible sin ecosistemas, ya que depende de la base natural que estos proveen.

En una escala hídrica hay una interrelación entre las condiciones naturales (hidrológicas) y las condiciones sociales. El concepto de *cuencas hidrosociales* expresa la relación entre las cuencas, en términos hídricos y de la sociedad, a través de su manejo político y técnico. Esto implica problemas de poder vinculados con el uso del agua, su procedencia, los trasvases y el despojo del agua de unos territorios para satisfacer las demandas insaciables de las ciudades. Se presentan escenarios de injusticia ambiental, donde se afectan ecosistemas y territorios hidrosociales habitados por poblaciones rurales.

En el sector institucional es indispensable diseñar una serie de políticas públicas transversales en las cuales se integre la política urbana ambiental y del agua. Actualmente, las políticas urbanas, ambientales e hídricas se encuentran desarticuladas por la fuerza de los actores urbanos que especulan sobre el territorio y promueven una expansión urbana a escala metropolitana. En este escenario la planeación se

convierte en un modelo obsoleto, porque se cambian e incumplen los planes de desarrollo urbano y no hay una congruencia en la política urbana con las políticas del agua, lo cual deriva en una serie de conflictos urbanos.

Para hablar del agua en la ciudad, no solamente hay que considerar el uso que hace la población de este recurso, sino también las actividades económicas que consumen un alto porcentaje del líquido, las cuales tienen prácticas de uso y manejo intensivas. Particularmente, las industrias actúan bajo una legislación ambiental muy laxa que posibilitan el uso y abuso del agua; como consecuencia se altera el metabolismo urbano, en términos de entradas y salidas de agua en la ciudad. Lo anterior incrementa la vulnerabilidad de las ciudades en cuestión hídrica. Y además debemos considerar el cambio climático como una variable de alto impacto.

Las ciudades crecen de manera descontrolada, pero ese desorden es intencional con intereses económicos y políticos claros. Sin embargo, aumentan las vulnerabilidades en el territorio, aunado a los eventos extremos relacionados con el cambio climático, dentro del cual el agua es uno de los factores más sensitivos. Por ejemplo, diferentes zonas del país están expuestas a inundaciones, pero no exclusivamente por causas naturales, sino también por las intervenciones humanas que moldean el territorio.

Respecto a los retos políticos, en la escala metropolitana este crecimiento expansivo de las ciudades genera demandas de agua que alteran el ciclo hidrosocial y, particularmente, el paradigma dominante de trasvases de agua, el cual consiste en traer agua de otros territorios, para satisfacer las necesidades infinitas de una población abundante y de sus actividades económicas. Las políticas de gestión de territorio deben tener en cuenta las relaciones de campo-ciudad y de ecosistema-ambiente, sin dejar de lado la noción de cuencas hidrosociales y de territorios hidrosociales, en donde hay flujos de poder; es decir, el agua, la sociedad y la naturaleza están vinculadas. Estas contradicciones se exacerban en la escala regional, porque las desigualdades y los



► Mtro. Delfín Montañana, director de Educación Socioambiental de Isla Urbana.

conflictos son más visibles.

## Capacidades para la gestión integral del agua en una ciudad sustentable

### Mtro. Delfín Montañana

Para empezar a desarrollar estrategias, propuestas y soluciones que estén a la altura de la situación, el enorme reto que tenemos como especie en el ámbito planetario es cambiar la manera en la que pensamos la forma en que transformamos las acciones. Las perspectivas de diseño y la calidad relacional de la humanidad con el entorno dependen de esta transformación. Si no lo hacemos no será posible superar los problemas del agua, que después devendrán en otros problemas como la alimentación, la salud y demás sectores.

Esta situación exige que, en términos del trabajo y de las disciplinas, los distintos hilos del conocimiento transformen el paradigma a partir del cual operamos, para contribuir a la conversión de una Ciudad de México, que funciona como una plancha impermeable a una ciudad esponja; una ciudad capaz de integrar ríos vivos, humedales, zonas de los distintos sustratos, que aportan distintas capacidades de la infraestructura urbana para tener funciones hidrológicas en la ciudad. Para lograr eso necesitamos hacer grandísimos esfuerzos, porque cambiar la manera en la que pensamos y percibimos la realidad puede transformar por completo a la sociedad y a la ciudad para hacer una ciudad con sistemas vivos que conviven entre ellos, es decir, donde la fauna nativa pueda habitar y cohabitar con nosotros.

El reto no es técnico, no es tanto financiero, es un reto de voluntad, de alinear nuestras ideas, de cómo nuestra especie quiere expresarse en este lugar y cómo queremos seguir propiciando la calidad de vida en la ciudad. Dentro de ese contexto, en el desarrollo de proyectos para los ríos vivos dentro de la ciudad y la regeneración del sistema socioecológico, necesitamos conectarnos de una manera distinta, trascendiendo características de orden individual o de grupo. La situación nos demanda construir capacidades para dialogar y, de forma conjunta, encontrar espacios donde la reconciliación de lo que buscamos como dignidad y calidad de vida con expectativas y oportunidades, sea algo común para todos.

Por otro lado, en los temas de cosecha de agua, se elabora una revisión precisa sobre los distintos fragmentos, artículos y zonas acerca de las características de las construcciones. Hay elementos que están considerados dentro del marco jurídico; no obstante, las estructuras generales solo son mencionadas, ya que en los reglamentos no se encuentran

suficientemente instrumentalizadas. Este tipo de esfuerzos resultan de la sociedad civil y de la academia porque, en particular, estos actores son grandes motores de las transformaciones del pensamiento dentro de los esfuerzos de integración. Tenemos, como ejemplo, la acción colectiva de la ciudadanía para mitigar los daños durante el terremoto del 19 de septiembre del 2017.

El análisis de la complejidad implica generar capacidades funcionales a distintos niveles de la sociedad. En el ámbito gubernamental también deben construirse esas capacidades funcionales que generen autonomía, para operar y concebir soluciones sustentables. El problema de la Ciudad de México no se circunscribe a su demarcación política, en si la situación socioambiental que estamos experimentando tiene efectos en el ámbito global, por lo cual se requiere construir espacios donde la confluencia pueda suceder, es decir, que las instancias de Gobierno, los grupos sociales y la estructura jurídica planteen dinámicas de educación para un cambio en la narrativa imperante. También deben potenciarse dinámicas de captación, gestión y manejo del agua de lluvia. Por ejemplo, el ahorro es algo fundamental: si una vivienda unifamiliar instalara sistemas ahorradores reduciría su consumo al 50 %; las dinámicas de tratamiento, reúso de agua residual al 100 %, regeneración de los sistemas vivos, infiltración y recarga de acuíferos y la reparación de fugas, son acciones que desde hace mucho tiempo sabemos que tenemos que hacer, pero no hemos sido capaces de articular esfuerzos para lograr un cambio sustentable en el manejo de los recursos hídricos.

### Mtro. Arturo Ramos Bueno

En cuanto a la recarga de mantos acuíferos, a pesar de que la cuenca está sobre estudiada, hay que saber cómo se mueve el agua, porque los flujos subterráneos no tienen las mismas características en el sitio de recarga de origen y en el lugar donde llega la recarga, es decir, depende de la zona donde se recargue el agua subterránea y sus diferentes características geológicas. Para ejecutar una recarga artificial hay que tomar en cuenta muchísimos factores; y, por otra parte, hace falta comprender con más detalle las diferencias entre el funcionamiento del agua subterránea y la superficial.

## Retos tecnológicos: desafíos y alternativas para el manejo del agua en las ciudades



**Mtro. Delfín Montañana**

La cosecha de lluvia en una vivienda unifamiliar permite que las familias que no cuentan con algún tipo de acceso al agua, obtengan una cierta autonomía hídrica, por lo menos mientras llueve en el año. Las familias pasan de una situación de escasez de 12 meses, a tener agua en calidad, cantidad y gratuidad durante todo ese tiempo. La cosecha de agua es una de las prácticas más antiguas de manejo y gestión del agua.

Estos procesos tienen que ser planificados en distintas escalas para transformar la ciudad en un espacio que sea sensible a la dinámica hídrica; esto implica que el agua se use de manera adecuada en las jardineras, los parques, las calles y las banquetas; separar la lluvia de los ríos y acceder a un sistema de abastecimiento puntual. Acerca de la situación de la infiltración, esta puede darse en parques, avenidas, jardineras y áreas naturales protegidas donde existen zonas boscosas; las industrias podrían también cosechar, irrigar o inyectar.

Tenemos que dejar de pensar de una sola manera y empezar a construir vías paralelas de forma colectiva, donde podamos plantear múltiples soluciones para un problema multifactorial como el que enfrentamos.

**Dra. Patricia Ávila García**

A la escala del asentamiento humano rural y urbano, los sistemas de captación de agua pueden ser una solución, particularmente donde la disposición de agua es muy limitada; por ejemplo, en zonas altas donde hay muy poca agua superficial.

En la meseta purépecha, gracias a esa cultura de uso y manejo del agua de lluvia, han podido sostener a la población; aunque tienen patrones de consumo bajo, cuentan con una estrategia de una cultura del agua con bases prehispánicas. Desde los años 50, con Lázaro Cárdenas del Río, se hizo una serie de ollas para cubrir parte del déficit de agua durante el año. En Cherán (Michoacán) existe un proyecto desde los años 80, liderado por un sacerdote; este territorio está ubicado en el Eje Neovolcánico, en una zona de recarga de acuíferos, pero no hay ningún río ni lago; entonces en los conos volcánicos se planteó hacer una gran olla de agua; parecía una utopía, pero la concretaron y ya se está abasteciendo de agua a la población; los pozos profundos son una solución tecnológica dominante para aprovechar agua subterránea, no obstante es muy costosa porque el bombeo es muy caro, no solo para extraer sino para elevar el agua; entonces la población de esa región ha optado por combinar estrategias múltiples para el uso del agua subterránea, superficial y pluvial, lo cual ha permitido minimizar costos.

Es importante establecer soluciones en el ámbito legal, con el fin de incentivar el uso de tecnologías verdes para el aprovechamiento de agua de lluvia o la reducción del consumo. El problema inicial en las ciudades es la presencia de desarrollos inmobiliarios que, en ocasiones, se instalan en áreas de recarga de acuíferos o en zonas que eran lagunas. Hay que repensar el modelo territorial de desarrollo urbano, mediante la comprensión de las afectaciones en zonas de importancia hidrológica.

El siguiente paso consistiría en considerar las soluciones micro-tecnológicas para tener un mejor uso del agua. El último punto es abandonar la noción de que lo urbano o la ciudad son exclusivamente casas y gente; hay que comprender los diferentes patrones y la huella hídrica que puede generar una zona con consumos ilimitados de agua, con campos de golf, albercas y otro tipo de infraestructura, comparado con una zona como Iztapalapa u otras pobres hídricamente.

La huella hídrica de los asentamientos humanos depende de los estratos socio-económicos, por lo que deberían plantearse estrategias más racionales en las áreas de alto consumo, es decir, que se racione y se regule, porque de forma generalizada se piensa que los pobres son quienes tienen que ejecutar las soluciones, o en las viviendas de interés social, mientras que a los grandes desarrollos nunca se les limita.

Otro ejemplo, en el sector de actividades económicas, en Morelia hay una papelerera que desde hace más de 30 años utiliza la tercera parte del agua de un manantial con decreto presidencial para uso urbano; además, con sus residuos contamina los ríos y el lago de Cuitzeo. En este caso se tendrían que aplicar soluciones de control ambiental para el racionamiento de uso del agua.

**Mtro. Arturo Ramos Bueno**

Hace unos años se planteó la construcción de un pozo de



► Mtro. Arturo Ramos Bueno, estudiante del Posgrado de Geografía UNAM.





► Sesión de preguntas en la Mesa “Ciudades Sostenibles frente a la Seguridad Hídrica”.

2 000 metros de profundidad en la Ciudad de México; para darnos una idea, la ciudad se encuentra en promedio a una altura de 2 250 metros sobre el nivel del mar. El problema es que no se están tomando las medidas para ejecutar un abastecimiento fácil y sencillo. Por otro lado, en ciertas partes de la ciudad no está llegando el agua, aunque el recurso ahí está, vivimos en un lago que se inundó de ciudad; la parte del desabasto no está forzosamente relacionada con una falta de disponibilidad en materia hídrica.

Con base en información del SACMEX, el sistema sur de pozos, en las alcaldías de Milpa Alta, Xochimilco y Tláhuac, aportan una cantidad similar al Sistema Cutzamala, aproximadamente el 25 % del agua que utiliza la Ciudad de México; sin embargo, las colonias ubicadas en el centro de la ciudad (Venustiano Carranza, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Benito Juárez) no registran tandeo alguno. En este punto valdría considerar la corrupción de las instituciones o de los sistemas informales para una comprensión general de la desigualdad en la distribución.

Pensar en un diseño urbano de uso sustentable del agua implica considerar el tipo de estructuras y su consumo. Se ha planteado que la densificación de las ciudades reduce el uso de los recursos; pero en el contexto de la Ciudad de México es en las zonas densas donde se presenta un mayor consumo de agua porque existe la infraestructura para acceder a ella. En este mismo contexto, las características físicas de la ciudad, como planicie lacustre, son las que pueden evitar que el agua se infiltre. Infiltración no es lo mismo que recarga; la recarga se refiere a una zona saturada de agua en movimiento. Las alcaldías en las que se ubica el suelo de conservación de la ciudad son las que más cantidad de agua aportan, pero no la consumen en la misma medida.

#### Dr. Fernando González Villarreal

Aproximadamente un 70 % del agua urbana y doméstica proviene de aguas subterráneas, una tercera parte del agua

de riego también viene de esta fuente. El agua subterránea es en cierta medida más importante que el agua superficial, o tan importante como el agua superficial. Sin embargo, al no ser un recurso visible, es prácticamente ignorado.

En México contamos con más de 600 acuíferos, de ellos alrededor de 120 se encuentran sobreexplotados, es decir, que la extracción es mayor que la recarga. En particular, se ha estudiado el acuífero del Valle de México y hay bastante información. Por ejemplo, en menos de 70 años la ciudad está consumiendo un recurso que se ha almacenado en el orden de 9 mil años. Esto es lo que se define como un aprovechamiento no sustentable.

Actualmente en muchas zonas se perforan pozos a 400 metros, además de pozos ultra profundos, pero la extracción está en alrededor de los 100 metros. En los años sesenta el agua normalmente estaba casi al nivel del suelo, pero se han invadido las zonas de recarga del acuífero del Valle de México. Se sabe desde hace mucho y hemos sido incapaces de poder gobernar el uso de suelo. Los conceptos de cuencas hidrosociales y de gobernanza nos permitirían entender cómo resolver el problema desde la investigación socio-hídrica más profunda, considerando los flujos de poder.

## Conflictos por el agua

#### Dra. Patricia Ávila García

Ante los conflictos de injusticia hídrica muchos de los defensores del agua, ambientales y del territorio, son perseguidos; el acceso a la justicia formal es prácticamente nulo en el país, persiste una violación de derechos humanos, que ha sido documentada por visitantes y relatores, en el caso de México; la población afectada ha buscado espacios alternativos de justicia, un ejemplo es el Tribunal Latinoamericano del Agua, el cual empezó sus audiencias en el año 2006.

Durante el Foro Mundial del Agua en México se expuso que este país es en el que más casos se han documentado, con pruebas formales de violaciones y afectaciones en términos del agua en Latinoamérica. Lo anterior está relacionado con los procesos globales y presiones de las corporaciones e industrias, quienes se están apropiando de fuentes estratégicas. Hace unos años el Tribunal Latinoamericano del Agua estableció una demanda al Estado mexicano, en la cual se señala a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) como causante de la devastación hídrica nacional; esto llevó a un fallo internacional y se elaboró un expediente con todos los argumentos jurídicos y técnicos.

También se creó el Tribunal Permanente de los Pueblos, dentro del cual una de las audiencias refería a la devastación ambiental, con énfasis en los recursos hídricos; se hicieron audiencias para documentar la serie de conflictos asociados con el agua en distintos territorios, entre ellos están los pueblos mazahuas y otros. El caso de México es alarmante porque es el propio Estado mexicano el que viola los derechos humanos ligados con el agua, para garantizar intereses económicos y dar certeza jurídica a las inversiones. La población de Guadalajara consume agua contaminada porque las autoridades no han reconocido la mala calidad de ese recurso; en consecuencia, hay casos de enfermedades hídricas en zonas como el Lago de Chapala.

Acerca de la deforestación podemos afirmar que es un fenómeno relacionado con una conducción errónea de las políticas establecidas para la seguridad hídrica. En México la política pública sobre seguridad hídrica se inició durante el gobierno de Vicente Fox; en esa Administración se afirmó que el agua es un asunto de seguridad nacional. En los gobiernos de Felipe Calderón y Enrique Peña Nieto se implementaron instrumentos de política; por ejemplo, se definieron regiones estratégicas para la producción de agua para las ciudades y las actividades productivas. Estos programas, liderados por la CONAFOR, tenían como objetivo reforestar y restaurar los suelos y bosques para garantizar el agua. Esta política devino en fuertes contradicciones, ya que, por un lado, se estaba estimulando como política ambiental en el ámbito federal para recuperar un equilibrio ambiental; y, por otro lado, la política económica que guiaba a esta iniciativa fue el libre comercio y la globalización, en el caso de Michoacán, afianzando la expansión aguacatera.

Tenemos un conflicto en la cuenca de Zirahuén y en la de Pátzcuaro por la expansión de esta industria, la cual representa un gran problema en Michoacán, debido a que hay un cambio de uso de suelo en los bosques, mismos que permiten la recarga de acuíferos que benefician a las ciudades y a las zonas agrícolas. Ante la globalización económica se privilegia la deforestación para los cultivos comerciales de-



► Mesa: “Ciudades Sostenibles frente a la Seguridad Hídrica”.

dicados a la exportación. La industria aguacatera ha expandido su frontera, primero desviando el agua de manantiales o implementando pozos profundos para regar, y ahora en las zonas donde no hay agua se ha optado por poner ollas para captar el agua de lluvia. En el flujo natural del agua hay una parte que se recarga y otra que escurre, no obstante este proceso ha sido interrumpido por esta estrategia; los pobladores de Zirahuén notan problemas críticos en cuanto al descenso del nivel del agua, y también respecto de los escurrimientos con plaguicidas y contaminantes. Entonces, aparentemente una solución ecológica, en una escala de cultivos de agroproducción, puede afectar a poblaciones pequeñas como Zirahuén o Pátzcuaro.

Las políticas forestales-ambientales, que buscan acciones de mitigación ante el cambio climático, se encuentran desligadas de las comunidades; por ejemplo, en el caso de los mazahuas, quienes tenían propuestas de manejo integral de bosques para conservar estos ecosistemas y el agua, no solo para la Ciudad de México, sino para ellos. Este tipo de políticas conduce a un estado de inseguridad y de confrontación por los recursos hídricos.

En particular, la industria aguacatera fue apoyada por el Gobierno del estado (Michoacán), a pesar de que los cambios en el uso del suelo son competencia del Gobierno federal. Se establecieron decretos que validaban el cambio de uso de suelo a las huertas aguacateras con sello verde; este tipo de medidas promovieron la deforestación, poniendo en riesgo la seguridad hídrica del país y de las ciudades.

## Conclusiones

- La seguridad hídrica es la capacidad para salvaguardar el acceso de cantidades adecuadas al agua de buena calidad; parte de esa agua debe volver a los ecosistemas. El reto de las ciudades sostenibles es recuperar esos ecosistemas para generar un equilibrio. En el caso de la Ciudad de México se requiere el restablecimiento del ambiente lacustre por su relevancia ambiental y social. En el sistema de agua de esta ciudad es prioritaria la recuperación del agua a partir de nuevas metodologías, con una perspectiva hidrosocial.
- Los problemas del agua no se resuelven con cuestiones puramente técnicas o meramente sociales, sino que también existe una tecnología o innovación social apoyada en la cultura del agua. La forma en que las comunidades se relacionan con los recursos hídricos es muy importante, considerando problemas socioambientales asociados con los cambios hidrometeorológicos, el consumo altamente diferenciado, el bombeo y el transvase de cuencas. Se requiere disponer de información clara

- y suficiente comunicación entre instituciones académicas, gubernamentales y de la sociedad, así como educación sobre el buen uso de los recursos hídricos para generar las capacidades necesarias para hacer frente a estos retos.
- En algunas ocasiones las soluciones que benefician a las ciudades generan conflictos sociales en las comunidades de donde se extraen los recursos hídricos. Mientras no exista armonía entre el campo y la ciudad, no se puede hablar de sustentabilidad hídrica.
  - Las nuevas generaciones de académicos y de estudiantes están preocupados y buscan sumarse a los proyectos de gestión y gobernanza del agua, a partir de una nueva manera de administrar el recurso. Cambiar la forma de pensar, en el contexto de estrés hídrico, conlleva a plantear alternativas para evitar el mal uso del agua (como sistemas de ahorro, cosecha de lluvia, baños secos, entre otras).

## Nexo agua-energía-alimentos



► De izquierda a derecha: El M. en C. Odón de Buen Rodríguez, el Ing. Arturo Jesús Palma Carro, la Mtra. Malinali Domínguez Mares, y el Dr. Humberto Marengo Mogollón.

**E**n la mesa de análisis *Nexo agua-energía-alimentos*, moderada por la Mtra. Malinali Domínguez Mares, coordinadora del grupo de análisis “Seguridad hídrica”, participaron el Dr. Humberto Marengo

Mogollón, profesor de la Facultad de Ingeniería-UNAM, el M. en C. Odón de Buen Rodríguez, director general de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, y el Ing. Arturo Jesús Palma Carro, presidente de la Asocia-

ción Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México A.C.

El agua, la energía y la producción de alimentos tienen una conexión interdependiente; sin embargo, el agua tiene un papel central en esta relación. Los recursos hídricos son irremplazables para la agricultura y otras actividades relacionadas con la producción alimentaria. De hecho, se estima que el 70 % de las extracciones de agua en el mundo se destinan a esta actividad económica, aunque se espera que el volumen aumente en los próximos años. Para garantizar la seguridad alimentaria en los próximos 30 años es necesario duplicar el volumen de producción agrícola actual, lo que supone importantes presiones sobre los recursos hídricos.

Por su parte, la producción energética global consume alrededor del 15 % del agua, la cual es necesaria para la extracción de fuentes energéticas, así como para los procesos de enfriamiento y procesamiento de energía. La extracción, bombeo, recolección y transporte del agua también consumen cantidades importantes de energía. La explotación de hidrocarburos y la minería, además de requerir grandes volúmenes de agua, están asociadas

a transformaciones en el ambiente y a la calidad de los recursos hídricos, como sucede con las técnicas de fractura hidráulica. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas, para el 2035 el consumo de energía aumentará en 50 %, por lo que se espera que las extracciones de agua se incrementen también en un 20 %. Un tema que requiere de especial atención es la producción de biocombustibles, pues en ella se involucran los tres sistemas.

El concepto nexo agua-energía-alimentos ha surgido para explicar, analizar y entender las complejas interacciones entre los tres sectores. A pesar de que se ha experimentado un avance importante en los últimos años, persiste la falta de una visión integrada a largo plazo que permita intervenir en las políticas públicas, la inversión y el propio ámbito académico.

Ante un panorama de acelerado aumento de la población, desarrollo económico desigual, urbanización no planificada, transformación de los patrones de consumo alimentarios e intensificación de los efectos del cambio climático, la mesa *Nexo agua-energía-alimentos* tiene por objetivo comprender las implicaciones del paradigma, los retos y oportunidades para ser implementados en los distintos sectores.

## Nexo agua-energía-alimentos en un contexto de seguridad hídrica

**Dr. Humberto Marengo Mogollón**

Para definir la seguridad hídrica hay que señalar que existen múltiples acepciones nutridas por distintas ramas de la ciencia; una de las más aceptadas es la de David Grey y Claudia W. Sadoff. En su definición indican que la seguridad hídrica es la disponibilidad de agua en cantidad aceptable y con calidad para la salud, las actividades humanas, los ecosistemas y la producción, junto con un nivel aceptable de los riesgos hidrometeorológicos para las personas, el ambiente y la economía, a partir de criterios de equidad y sustentabilidad, contemplando los efectos del cambio climático.

De acuerdo con la ONU, para el año 2035 se incrementarán el uso de energía en un 35 % y el del agua en un 20 %. Hay visiones más extremas en las que se indica que para el 2050, como resultado del fenómeno de la migración hacia las urbes, aumentará el requerimiento de energía y el de agua limpia en un 300 %.

En el tema de la energía se están generando en el mundo 26,500 TWh, y en nuestro país estamos por producir 360 TWh. La realidad es que México tiene muy poca participación en la producción de energía en el contexto mundial. No

obstante, respecto de la energía hidroeléctrica, las 101 centrales operan con el 17 % de la capacidad instalada y el 48 % de la energía limpia que se produce en el país.

Además de las fuentes de carbón, existen otras como la energía nuclear y la energía hidráulica. La Unión Europea ha evaluado los costos de externalidades por generar energía, es decir, valorar el costo económico y el impacto ambiental en la salud y en la sociedad por la generación de energía. En ese contexto la energía nuclear, la hidroeléctrica y la fotovoltaica son las que menores impactos tienen; sin embargo, la Administración actual del país continúa favoreciendo la producción de carbón y gas.

Frenar la generación hidroeléctrica de México, y en el mundo, tendría consecuencias importantes. En primera instancia, habría que construir 1 000 nuevas centrales térmicas de 500 MW, se consumirían más de 400 millones de toneladas de carbón por año y se requeriría la construcción más de 150 plantas nucleares de 1 000 MW por año.

En el ámbito mundial se propone estudiar la relación del retorno de inversión de la energía, que es la energía total que produce una fuente de generación, comparada con los materiales para construirla, operarla y su decaimiento. En ese contexto, las hidroeléctricas y las presas ocupan los valores más altos; también recientemente se han medido las emisiones en toneladas por GWh, las cuales se encuentran relativamente bajas. Gracias a las presas, 900 millones de seres humanos comen, y además constituyen una forma de almacenar el agua con la cantidad suficiente para el desarrollo humano.

Recientemente se estudiaron las causas de la emigración en Centroamérica y Sudamérica. Se detectó que la sequía es uno de los factores más relevantes que propicia esta dinámica, la cual se ha recrudecido en los últimos años, especialmente en Centroamérica. Las presas con las que se irrigaba y se producían alimentos dejaron de hacerlo, la gente no tuvo que comer, se perdieron empleos y, en su caso, decidieron emigrar. Frente a estos retos sociales, la tecnología, en par-



► Dr. Humberto Marengo Mogollón, profesor de la Facultad de Ingeniería-UNAM.



ricular las presas permiten irrigar, proveer de agua potable, proteger contra inundaciones, proveer aire limpio y brindan protección a los recursos naturales.

### M. en C. Odón de Buen Rodríguez

La situación que se nos plantea en términos del nexo entre agua-energía-alimentos constituye una ecuación compleja. El bombeo de agua en México se hace de forma ineficiente; los cultivos demandan una cierta cantidad del líquido, pero en ocasiones ese recurso es desperdiciado; por tanto, la energía para obtener esa agua también es desperdiciada.

El subsector más subsidiado dentro del sector eléctrico es el de bombeo de agua para riego agrícola; en este sentido, quienes utilizan esa agua no perciben el costo como algo muy elevado. Las propias comisiones locales del recurso hidráulico tienen problemas de extracción, porque la profundidad a la cual se extrae el agua tiende a incrementarse; por consiguiente, el consumo de energía también tiende a crecer. Hacer más eficiente el uso de energía para el cultivo conlleva a la eficiencia en el uso del agua, entre menos metros cúbicos ocupemos por hectárea o por tonelada, podremos hablar de una producción eficiente. Sin embargo, tanto el agua como la electricidad tienen un costo muy bajo y los productores no se preocupan por hacer más eficientes sus procesos.

Las políticas públicas, en términos de las prioridades locales, deben atender a las necesidades, pero también a la eficiencia del uso del recurso. Por ejemplo, hay agua que se utiliza de las presas para cultivos, pero también se usa para otras cosas como, por ejemplo, la generación de electricidad. El sistema de presas de México está orientado, en primer lugar, a manejar el agua para cultivos, aunque en gran medida las grandes presas están hechas para generar electricidad. Esto permite vislumbrar los posibles conflictos entre las políticas públicas del sector energético y del sector agrícola.

En el contexto del cambio climático surge una nueva disyuntiva en la que los tomadores de decisiones deben pensar si suministran el agua de forma inmediata o la reservan ante la incertidumbre que implica este fenómeno.

En la definición de una política pública se está priorizando la variable de la pobreza; por tanto, se establecen subsidios en el caso del agua y la energía; no obstante, esta medida afecta la productividad. Entonces, la producción alimentaria y energética se superponen al uso eficiente del agua. Hay dos fenómenos asociados al campo: uno es la llamada generación distribuida; existe un proyecto del Fideicomiso de Riego Compartido (FIRCO) que promueve las inversiones para pequeños productores, por ejemplo, al tener sistemas fotovoltaicos para extraer agua localmente, sin requerir de

un sistema complicado para proveer de este recurso, con la ventaja de que se puede almacenar.

El otro fenómeno, que está asociado al consumo de energía, es el hecho de que cada vez se requieren más sistemas de enfriamiento para los alimentos, es decir, una cadena de frío asociada a la distribución de alimentos procesados; esta también representa un área de oportunidad para hacer más eficiente la relación entre el alimento producido y el consumido, al mismo tiempo que se reduce el impacto sobre el consumo de energía.

### Ing. Arturo Jesús Palma Carro

El nexo que existe entre agua-energía-alimentos es evidente en el contexto de seguridad hídrica que anhelamos en México y en el mundo. Afortunadamente, dentro de este nexo contamos con un recurso renovable que es el agua; independientemente de cuantas veces lo usemos, lo podemos regresar a como lo tomamos. Sin embargo, es responsabilidad de cada uno de los usuarios utilizar el agua de forma eficiente, así como devolverla en cantidad y calidad suficiente, independientemente del uso que se haga de ella.

Los organismos operadores tienen la responsabilidad de transportar el agua a las ciudades, a las comunidades, a los hogares, pero después es indispensable recolectarla y tratarla para devolverla como fue tomada, con el fin de que se cumpla el ciclo del agua adecuadamente. Es una responsabilidad para la cual no hay suficientes incentivos y tampoco las sanciones necesarias para que se cumpla la normatividad vigente. También es evidente la falta de una cultura del agua en el país.

En las Naciones Unidas se ha reconocido el vínculo entre agua-energía y la forma en que influyen enormemente en el índice de pobreza de un país, de una comunidad. No obstante, en algunas comunidades no existe una cultura de pagar el agua, es decir, de pagar por el servicio, porque si bien el



► El M. en C. Odón de Buen Rodríguez, el Ing. Arturo Jesús Palma Carro, y la Mtra. Malinali Domínguez Mares.

agua en la naturaleza y en la lluvia es gratis, para transportarla a los hogares es necesario bombearla y tratarla. Estos servicios en ocasiones no se pagan y el 95 % de los organismos trabaja con números rojos, por lo que el proceso de transportar el agua con la calidad y la cantidad suficiente se torna complejo.

La energía solar se utiliza en comunidades rurales donde la economía familiar no les permite pagar un recibo elevado de luz. En algunos estados ya se están implementando medidas en las comunidades rurales para establecer infraestructura hidráulica que funcione a partir de energía solar, con estas medidas se busca que puedan abastecerse de agua y darle tratamiento.

Sobre el tema del tratamiento del agua se están buscando alternativas más accesibles, por ejemplo, implementando humedales y lagunas de oxidación.

Recordemos que más del 70 % del agua en nuestro país está destinada al campo y más del 20 % está predestinada al consumo humano; la industria ocupa entre el 5 y 6 %. Cada uno de los usuarios debe responsabilizarse de retornar el recurso con la calidad suficiente. La tecnificación del campo puede ser una vía para reducir la ineficiencia en el manejo de los recursos hídricos.

## Transformación de los sectores alimentarios y energéticos para mejor aprovechamiento de los recursos hídricos

**Dr. Humberto Marengo Mogollón**

En el contexto de México, con un territorio de cerca de dos millones de kilómetros cuadrados, tenemos un escurrimiento anual de casi 400 mil millones de metros cúbicos; el problema de este escurrimiento es que el 77 % se presenta en el sureste de México y sólo el 23 % en el norte y centro del país; el 80 % de ese escurrimiento se registra en tres meses del año (julio, agosto y septiembre, a veces algo de octubre). Prácticamente estamos a la misma latitud que el desierto del Sahara; no obstante, las trayectorias ciclónicas del Atlántico o del Pacífico son un factor importante por sus masas de aire húmedo.

Con esta distribución tan desigual del agua tenemos tres grandes retos como sociedad mexicana y, especialmente, como ingenieros: la seguridad hídrica, la seguridad alimentaria y la seguridad energética. Se tienen que transformar cada uno de estos sistemas para atender los retos. En la normatividad la prioridad es el agua para beber; en segundo

lugar, para producir alimentos, y en tercer lugar para generar energía y enfriar las plantas térmicas.

Hasta los años 50 y 60 se construyeron varias presas y almacenamientos; además, los acuíferos no estaban sobre-explotados. Las sequías y el cambio climático van a representar un verdadero reto para cada uno de los sectores mencionados; la única forma de enfrentar los nuevos desafíos es con agua almacenada, lo cual demanda una regulación adecuada de las presas. Los sistemas hidráulicos deben ser planificados integralmente y reconocer los impactos climáticos para mitigarlos y compensarlos. Es un deber replantear, modernizar y repotenciar la infraestructura hidráulica.

Por ejemplo, es indispensable renovar los sistemas de riego porque gran parte de los recursos hídricos son desperdiciados, aun cuando ya existen nuevas tecnologías por goteo, aspersión o la hidroponía. Entonces, en primera instancia debemos evaluar la infraestructura disponible para darle mantenimiento; de no ser suficiente habrá que diseñar nuevos proyectos.

En el marco del sistema de agua de las ciudades, específicamente en el caso de la Ciudad de México, debe considerarse que no habrá recursos suficientes para toda la gente que está llegando. En este sentido, se tendrá que transportar agua de otros sitios, por ejemplo, del río Papagayo, a 300 km de la ciudad, y de los ríos de Puebla, a 270 km, entre otros. Actualmente ya vemos una situación de insustentabilidad en el oriente del Valle de México.

Si las acciones del Gobierno son insuficientes, la sociedad tiene que plantear posibles acciones; también la academia puede contribuir con datos y análisis para la comprensión de las dinámicas sociales, económicas, políticas y técnicas para subsanar la falta de planeación del Gobierno federal.

En cuanto a los energéticos, se sigue invirtiendo en fuentes convencionales, por ejemplo, en refinerías como la de Dos Bocas; se invierte en Pemex para la exploración y futura explotación. El nuevo Gobierno sigue pensando en la idea de generar riqueza a partir de los hidrocarburos, cuando en realidad hay sociedades que ya están cambiando. En mi opinión deberíamos explotar y extraer gas Shell, pero no hacerlo de manera generalizada, porque con la hidrofracturación se afectan los acuíferos; hay zonas localizadas en las que sí se puede hacer. No podemos hablar de seguridad energética en México, mientras se siga trayendo el gas de Estados Unidos; el 70 % de la energía que se produce en este país proviene de gas natural importado. No podemos seguirlo haciendo, mucho menos en una Administración como la de Trump, porque hay demasiada incertidumbre sobre la disponibilidad de los recursos.

Se está pensando que el tren Maya y el tren del Istmo se electrifiquen con gas natural, cuando el sureste mexicano está lleno de agua y de proyectos hidroeléctricos.

Hay un potencial de energía. Desde el punto de vista hidroeléctrico están identificados 512 proyectos posibles. Se pueden llegar a 115 kWh al año; si producimos 30 kWh ese sería el posible; el factible es del orden de 27 kWh, lo ha señalado el PRODESEN de la Secretaría de Energía, pero solo se podrá desarrollar si se establecen nuevos proyectos. Estamos planteando la posibilidad de hacer rebombes para usar las plantas hidroeléctricas como acumuladoras de energía; también implementar la energía eólica y solar para subir el agua a un estanque superior, almacenarla, guardarla y reusarla para cubrir la demanda de energía en ciudades y en poblaciones pequeñas.

La energía mareomotriz se genera de dos maneras: cuando viene el oleaje la ola entra en una turbina tipo Limpette y el aire la empuja, produciendo aire comprimido y con baja producción de energía; cuando sube la marea, y con el desnivel que tenemos del agua, es posible que el líquido pase para mover las turbinas, y cuando sube del otro lado, retorna. Este es un sistema reversible, inventado por los franceses en una central que se llama La Rance, la cual implicó altos costos. Actualmente hay varios proyectos y prototipos, pero es indispensable revisar cuáles son los más factibles.

El saneamiento de aguas negras podría contribuir a la producción de energía; la separación de la basura orgánica permite la producción de metano, y este se puede usar como biogás; actualmente investigadores mexicanos proponen usar el nopal como biocombustible para generar energía. En las plantas de tratamiento, en la parte biodegradable, se requiere un flujo constante de alimentación para limpiar los desechos, no se aceptan flujos variables, por lo que hay una capacidad muy reducida de poder hacer el tratamiento de las aguas.

En ese sentido se abre una línea de investigación muy interesante para las universidades, sobre la forma en que se puede transformar el hidrógeno en un combustible, ya sea para generar energía o para mover vehículos; en la Universidad Veracruzana ya se está trabajando este tema.

La reforma energética no está determinada por las condiciones de México. Los cambios que se plantean en la actual Administración sobre esa reforma se valen de que la energía que producen es acreditable con certificados de energías limpias y están devaluando los CELs. Esa cuestión está afectando a todos los que subastaron, contrataron y pagaron la energía. Con respecto a la regulación del Certificado de Energías Limpias (CELs), considero que no corresponden al contexto.

## M. en C. Odón de Buen Rodríguez

El consumo de electricidad por bombeo de agua es equivalente a una cuarta parte de la generación de energía hidráulica. Es decir, una cuarta parte de la electricidad generada por energía hidráulica se destina para bombear agua. El Sistema Cutzamala está a varios kilómetros, pero a 1 200 metros del nivel de donde está la Ciudad de México; el gasto de energía de este Sistema equivale, en términos de uso de petróleo, a 1.5 millones de barriles. El consumo por metro cúbico, en términos del consumo de cada familia, equivaldría al doble de lo que emplea al año para los otros servicios. En promedio, en los hogares de la Ciudad de México, donde se utiliza un metro cúbico diario, se consumen del Sistema Cutzamala 1 000 kWh al año.

Si vamos a hacer eficiente el uso de energía, pueden considerarse estas cuatro posibles soluciones: la reducción de fugas y de uso innecesario del agua, el aprovechamiento de las aguas tratadas, la eficiencia de los sistemas de bombeo, y la mejora de los sistemas de irrigación. Sobre el primer punto es innegable que se requieren inversiones en la infraestructura, además de tomar medidas para evitar el desperdicio. Acerca del segundo punto habrá que enfocarse en dar seguimiento a los sistemas de tratamiento locales, porque en muchos casos no hay un mantenimiento suficiente. Sobre el tema de los sistemas de bombeo es evidente que pueden mejorarse notablemente, porque esto impactaría directamente en el ahorro de energía. Por último, al hacer más eficiente el uso de agua en los cultivos, podríamos impactar directamente en los tres sectores.

## Ing. Arturo Jesús Palma Carro

El estrés hídrico es una realidad en el mundo. En 1910 la disponibilidad media por habitante al año en México era de más de 31 mil metros cúbicos; para 1950 se redujo a 18 mil metros cúbicos, y en la actualidad estamos apenas por arriba de los 3 600 metros cúbicos. La cantidad de agua es la misma, pero la población se está incrementando y, por tanto, la disponibilidad se va reduciendo. Otro factor demográfico a considerar es la migración del campo a las ciudades, ya que este fenómeno impacta en los tres sectores.

El modelo de economía circular se vislumbra como una opción para completar los ciclos en cada uno de los sectores, con el fin de lograr la eficiencia. Por ejemplo, si se recupera agua del campo será posible mandar más agua a las ciudades con un menor costo; otra opción es no bombear el agua de zonas lejanas y resolver el tema de las fugas, tan solo en la ciudad de México se pierden arriba de 11m<sup>3</sup>/s. Esta es una situación delicada pensando en los términos del nexo, porque además del agua también se pierde energía.

Otra alternativa es apostar por las energías limpias. Diversos organismos están implementando microturbinas en la distribución del agua para generar energía. En el último año a los organismos operadores y a la industria, en general, les han incrementado el costo de la energía entre el 40 % y arriba del 100 %; el promedio nacional fue de 55 %. Estos costos van a repercutir en el precio de los productos y, por consiguiente, afectará la economía de la población. Caso contrario, hay organismos que tienen más de 30 años que no han podido elevar el costo al que venden el metro cúbico de agua; aun cuando a ellos el metro cúbico les cuesta nueve pesos, lo cobran en menos de un peso.

Respecto al tema de la infraestructura, hay que considerar que muchos de los sistemas de bombeo ya son viejos, tanto para la distribución de agua potable como para la producción agrícola. Es necesario reemplazar esos sistemas por unos más nuevos y eficientes para distribuir y tratar el agua.

En suma, se requiere de una serie de acciones, nuevas investigaciones, trabajar en temas clave y seguir implementando soluciones conjuntas. Todo esto enmarcado en una cultura del agua, cuyo objetivo se centre en implementar el modelo de la economía para reducir el estrés hídrico.

## Retos del sector hídrico para impulsar el nexo agua-energía-alimentos

**Dr. Humberto Marengo Mogollón**

En la Ciudad de México no tenemos un crecimiento urbano ordenado, tampoco en las demás ciudades del país, salvo algunas excepciones. Las poblaciones están padeciendo las inundaciones y los desastres naturales; sin embargo, no se están tomando medidas de prevención suficientes y las comunidades siguen expuestas a los mismos riesgos, mientras las dependencias federales están cerrando sus áreas de planeación y de programación.

Es indispensable contar con una planeación para alcanzar la seguridad hídrica. Cada proyecto debe ser correctamente identificado; también es necesario conocer quiénes son los responsables de cada una de las estrategias ambientales, sociales y políticas para llevarlas a cabo. Lamentablemente no se está haciendo una planeación en el Gobierno. La academia tiene una oportunidad para intervenir o sustituir algunos de estos aspectos.

Las infraestructuras viejas están fallando; recientemente una presa en Estados Unidos falló por falta de mantenimiento en sus estructuras. Por otra parte, en la frontera entre Estados Unidos con México es impresionante que las aguas negras del



► La Mtra. Malinali Domínguez Mares y el Dr. Humberto Marengo Mogollón durante la sesión de preguntas.

lado mexicano salen al mar crudas, mientras que del lado de Estados Unidos no; ellos se quejan porque esos contaminantes les impiden desarrollar sus playas y centros turísticos.

Otro punto es el combate al cambio climático por su impacto en el ciclo hidrológico. La Administración actual tiene que fortalecerse. Cuando el Dr. Fernando González Villarreal fue director general de la CONAGUA, la labor de esta institución abarcaba a todo el país. Ahora el ordenamiento territorial, los riesgos, la administración del agua potable y los aspectos sociales se transfirieron a los estados, pero estas entidades no tienen la capacidad técnica ni administrativa para enfrentar los retos actuales.

En parte esto se deriva de una ley anacrónica sobre la tenencia de la tierra, porque independientemente de la propiedad de un terreno, si en el subsuelo hay petróleo o agua, estos recursos no son propiedad de los dueños del terreno, sino de la nación. En ese sentido, no se reconocen los derechos legítimos y tampoco se compensa a las comunidades. Por ejemplo, en la CFE, cuando se construyó el parque eólico La Venta, se entregó el dinero de indemnización al comisario ejidal y este salió corriendo, no repartió entre la comunidad; esa falta de honestidad impide una compensación adecuada.

Las soluciones tienen que estar orientadas hacia un ordenamiento territorial, porque si pensamos en cuestiones absolutamente técnicas (como la elevación de las presas), podemos incrementar las afectaciones en las comunidades. El asunto es que los niveles de conservación de las presas no son respetados ni por las clases populares, ni por las clases adineradas. Valle de Bravo es un ejemplo, donde los pobladores le exigen al Gobierno que no suba el nivel de la presa.

En relación con lo anterior debemos profundizar en el estudio de las dinámicas sociales respecto al ordenamiento territorial, pero hay que hacer copartícipes a las comunidades, respetar los derechos legítimos e identificar áreas de oportunidad para la modernización, además de garantizar el agua potable y combatir el cambio climático.





► Panel de la Mesa “Nexo agua-energía-alimentos”.

Un último punto es que se requiere fortalecer el diálogo y la visión interdisciplinaria entre las ciencias sociales, ambientales y legales con aspectos de hidráulica y energía (en la parte técnica), y con ello lograr un planteamiento con los fundamentos necesarios para hacer una política pública y de Estado, con el fin de aumentar un 30 % el almacenamiento del agua. Si nos comparamos con los países desarrollados, ellos están entre el 70 % y el 80 % de la regulación de su agua; en México estamos en el 30 %. La única forma objetiva en el corto plazo, en mi opinión, es rehabilitar, modernizar e incrementar la altura de las presas. La segunda mejor alternativa es generar nuevos proyectos para garantizar el derecho humano al agua.

Lo anterior debe hacerse desde un punto de vista social; las ciencias sociales tienen mucho que aportarnos en estos temas. La discusión de las políticas públicas debe contemplar el factor social, porque es fundamental para involucrar a las comunidades. La gente anhela los proyectos. Recuerdo el caso de La Parota donde las mujeres bajaban con una lata de agua al río Papagayo, a través de una pendiente del 10 %, durante 10 km, para una familia de diez; sin embargo, el narcotráfico no permitió desarrollar un proyecto tan importante en un estado en el que siembran bastas cantidades de amapola.

Entre los mecanismos pueden efectuarse plebiscitos directos con la gente que realmente estará involucrada en el proyecto y ofrecerles mejoras reales a las comunidades. Hay que modernizar para dar un paso adelante; en el campo, por ejemplo, todavía se riega con surcos y melgas, desperdiciando el 70 % del agua. Aunque todos tenemos derecho al agua, es indispensable saber que el servicio y su tratamiento tienen un valor, hay que repensar hacia donde queremos destinar los recursos, porque si bien no queremos pagar un metro cúbico de agua en nuestras llaves, estamos dispuestos a gastarlo en las botellas de agua. Debemos invertir para que el agua de las ciudades se vaya tratada, porque si no se están transfiriendo riesgos a los distritos de riego, donde todavía se utilizan aguas negras. Generalmente se piensa

que el Gobierno es quien debe hacer el tratamiento, pero considerando que ese servicio cuesta, es mejor que sea privado para hacerlo más eficiente.

Una de las mayores preocupaciones es el tema de las inversiones, ya sea de fondos gubernamentales, de la iniciativa privada o de la sociedad, para resolver los problemas. Las instituciones, como el SACMEX, no pueden condonar el pago por el servicio, porque el Gobierno federal no va a subvencionar el mantenimiento de la infraestructura y todas las implicaciones en torno a este.

En cuanto al almacenamiento, antes de inyectar el agua a los acuíferos es indispensable tratarla. No hay otra forma racional de manejar y usar el agua. Hay gente que dice: “¿por qué no usamos el agua de lluvia?”. Pero debemos considerar que para tomarse un vaso de esa agua se necesitan 16 días de lluvia intensa en la Ciudad de México, además de hacer un tratamiento, debido a la lluvia ácida, a los coliformes y a otros contaminantes. Es indispensable el tratamiento de esa agua.

Una opción es racionalizar el agua a partir del diseño de un sistema eficiente. De momento se estima que se requieren 300 litros por habitante al día en la Ciudad de México, pero de esa cantidad el 45 % se pierde por fugas. Sao Pablo es una ciudad que funciona con 125 litros por habitante al día. Además, se tiene que hacer una revisión del sistema de agua potable, ya que el modelo actual es obsoleto y no responde a los problemas que tenemos. Respecto al tema de distribución del agua en la Ciudad de México, en la medida en que se suministre el agua potable a todas las colonias, el servicio de las pipas se tornará obsoleto. De momento es una solución paliativa para algunas familias.

#### M. en C. Odón de Buen Rodríguez

Los retos están ligados con las oportunidades relacionadas con el cambio tecnológico. Esto se observa en puntos clave del sistema agua-energía-alimentos, desde la tecnología para la producción de alimentos, el aprovechamiento y uso eficiente del agua, los métodos del bombeo de agua, la cosecha del agua en las zonas urbanas, el tratamiento en las propias casas (en el retrete, las regaderas y otros). Con la tecnología actual es posible monitorear los puntos para saber cómo está funcionando el sistema en general.

Otra cuestión es que, si bien hay que actuar en todo el país, las acciones efectivas están en la escala local. No obstante, existen deficiencias institucionales, tanto en el ámbito federal como en el local, ya sea por motivos presupuestales o en el desarrollo de capacidades para implementar proyectos, programas y políticas. Esto se ha reflexionado en la Comi-

sión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía y, a partir de ello, se observa que se requiere impulsar la formación de profesionistas en el ámbito local, donde puedan aportar sus conocimientos e implementar tecnología a problemas locales.

Lo anterior depende de una atmósfera facilitadora de estos procesos, donde verdaderamente se consideren las particularidades de cada región. El reto es valorar la forma en que se aprovechará el cambio tecnológico, porque si bien la tecnología está disponible, esta tiene que ser adoptada por las instituciones y debe ser implementada por profesionistas para dar soluciones puntuales.

En materia de energía renovable, los costos de la eólica y la fotovoltaica ya compiten con el gas natural. En la actualidad existe una capacidad instalada y operando en México, especialmente en La Ventosa; está creciendo en Tamaulipas y en la península de Yucatán. La tecnología fotovoltaica ya está en todas partes, lo vemos en las vialidades de la Ciudad de México de manera generalizada, pero con un crecimiento desorganizado. El hecho es que son alternativas rentables para la producción agrícola.

Además, la producción de energía de las aguas residuales es tecnológicamente posible y ocurre en México; existen plantas que aprovechan los gases extraídos de estas aguas de las ciudades. También hay una gran cantidad de residuos que se pueden aprovechar para generar electricidad; por ejemplo, el bagazo de caña es un combustible para la industria del papel o de la propia industria de la caña.

Respecto a las acciones sociales, hay que fomentar un cambio de prácticas de la gente. Más que pensar en la educación, en un sentido tradicional, hay que tratar de socializar mejores prácticas alrededor de estos temas, contemplando los distintos contextos donde se aplican, tomando como principio: “Piensa globalmente, actúa localmente”.

### Ing. Arturo Jesús Palma Carro

Los retos son muchos para poder impulsar este nexo agua, energía y alimentos, especialmente en términos de regulación, planeación, inversión y nuevas tecnologías. En el tema de la regulación, la población se ha volcado para participar en los estados, en las comunidades y en diferentes grupos políticos para el diseño de la nueva Ley del Agua. Si bien es importante que contemos con una ley, también debe prestarse atención a que los reglamentos sean instrumentos adecuados para resolver las problemáticas que se presentan.

La mayoría de los estados no están plenamente capacitados para sacar adelante estos retos. Desde 1983 los munic-

pios son responsables de la gestión de los servicios de agua; en este punto las diferencias entre unos y otros se hacen evidentes; por ejemplo, hay municipios como Monterrey o León que cuentan con las capacidades administrativas, pero también hay municipios como Cochoapa El Grande, en Guerrero, el más pobre del país, y otros más en donde las administraciones no tienen las capacidades suficientes para solventar la problemática. En este sentido, se requiere de un liderazgo apropiado para contar con las personas adecuadas en los organismos estatales y municipales.

Por otra parte, es importante trabajar en una legislación para implementar una economía circular que coadyuve al tema de la seguridad hídrica. También en la legislación se tiene que contemplar que los órganos reguladores que fijen técnicamente el precio del valor del agua, puedan hacerlo de forma diferenciada en cada punto de la república. Debemos priorizar la planeación para poder diseñar e implementar proyectos y hacer más eficientes las inversiones en el sector. Al respecto, la ONU señala que un país en desarrollo debe invertir al menos 0.3 % de su PIB en infraestructura hidráulica; sin embargo, en México se está invirtiendo el 0.02 %. Además, del año 2016 a la fecha, se ha reducido la inversión en infraestructura en 87 % a los organismos operadores. Hay que considerar nuevas alternativas de inversión, desde distintos frentes (público, privado, nacional, internacional).

Otros datos de la ONU nos indican que hay 3.5 billones de habitantes en nuestro planeta que no gozan del derecho humano al agua. Además, existen 1.3 billones de personas en el mundo que no tienen energía eléctrica. Ante esta realidad, todos tenemos que involucrarnos, adoptar nuevas tecnologías y hacer proyectos, tanto a macro como a micro escala.

El tema de la legislación debe contemplar la tecnificación para hacer eficiente el uso del agua. Tenemos casos aislados de éxito en algunas comunidades y municipios en los que no hay mecanismos para transportar el recurso a la ciudad; el mismo organismo operador invierte para llevar el sistema de riego a cambio de que se libere una dotación de agua para las ciudades.

Para lograr la disponibilidad del agua debemos implementar el modelo de economía circular y así conseguir la seguridad hídrica. El agua es un recurso renovable porque podemos utilizarla de nuevo si la tratamos adecuadamente.

Uno de los mejores organismos, en la ciudad de Tecate, Baja California, presenta indicadores por arriba del 90 % en eficiencia física comercial. Esto significa que todos los habitantes cuentan con agua de calidad de forma continua, a pesar de que la transportan desde muy lejos y a un alto costo para la población; sin embargo, los usuarios saben que deben pagar por el agua o no la tienen. Cuando vas a

la costa, si no hay agua excavas un pozo a dos o tres metros y seguro la encuentras. El problema es que a veces esos recursos están contaminados y se pone en riesgo la salud de la población.

En algunas localidades que no cuentan con drenaje o planta de tratamiento, no se quieren instalar esos servicios porque los usuarios se niegan a pagar el saneamiento, por lo que hay que trabajar en la cultura del agua. Por ejemplo, el organismo de León se unió con la población y con los empresarios; hicieron a un lado a los políticos y se mantuvieron los técnicos especializados. Ahora este es un organismo superavitario donde los consumidores tienen agua de calidad; todavía hay fugas, porque la eficiencia física encuentra en el 76 %, pero en términos comerciales están en el 93 %. Si como sociedad pudiéramos quitar la mitad de las fugas, podríamos garantizar agua para la población.

## Conclusiones

- Existe una relación compleja entre el agua, la energía y los alimentos. En materia de agua, es indispensable realizar las innovaciones necesarias para asegurar su uso

eficiente en cada sector, sin dejar de lado la prioridad de garantizar el agua en cantidad y calidad para todos los usuarios y para los ecosistemas.

- Hacer un aprovechamiento sostenible del agua implica un gran reto para los sectores alimentario y energético. Se requieren soluciones y alternativas integrales como la reducción de fugas; el tratamiento y reutilización del agua; reducir los costos y el uso de la energía a través de una mayor eficiencia de los sistemas de bombeo. Para ello es indispensable usar herramientas como la planeación estratégica, con el fin de replantear y repensar las capacidades que necesitamos para hacer frente a estos retos.
- Es indispensable fortalecer la cultura del agua que favorezca a cada uno de los sectores y también a la población. Para ello se requiere de un gran esfuerzo institucional, articulado con el quehacer científico, académico y técnico desde una perspectiva interdisciplinaria para encontrar posibilidades y alternativas que permitan alcanzar la seguridad hídrica actual y de las futuras generaciones.

## Economía circular en el sector hídrico



► De izquierda a derecha: La Dra. Maricarmen Espinosa Bouchot, el Sr. Jerome Poussielgue, el Mtro. Eduardo Vega López, y el Mtro. Ricardo Sandoval Minero.

En la mesa “Economía circular en el sector hídrico”, moderada por el Mtro. Eduardo Vega López, coordinador del grupo de análisis “Economía del Agua”, participaron la Dra. Maricarmen Espinosa Bouchot, coordinadora de Tratamiento y Calidad del Agua del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, el Sr. Jerome Poussielgue, representante de la delegación adjunta de la Unión Europea en México, y el Mtro. Ricardo Sandoval Minero, consultor en Agua y Saneamiento del Banco Internacional de Desarrollo.

Los sistemas de producción en el mundo están transitando de un sistema lineal de extracción-uso-desecho a un modelo de gestión basado en el concepto de economía circular. La propuesta central de este modelo es optimizar los flujos de materiales, energía y residuos, manteniendo su valor económico el mayor tiempo posible y, al mismo tiempo, disminuyendo la extracción de materias primas y redu-

ciendo la producción de desechos. El modelo de economía circular tiene un importante potencial de aplicación en el sector hídrico.

Para la gestión adecuada del agua se requiere un equilibrio entre su aprovechamiento, su valor económico y sus ciclos naturales de regeneración. Los recursos hídricos son limitados, pero la mayoría de los sectores económicos demandan grandes volúmenes para satisfacer las necesidades de la población. La reutilización de aguas es una estrategia para convertir los residuos en nuevas materias primas. Esta perspectiva es especialmente valiosa en países con problemas de escasez.

El tratamiento del agua para reuso requiere de medidas que garanticen los criterios de calidad suficientes para su implementación en diferentes aplicaciones (recarga artificial de los acuíferos, riego agrícola, uso industrial, generación de energías, riego de áreas verdes, limpieza, entre otras). Un tratamiento inadecuado puede generar impactos adversos en el ciclo natural del agua, que pueden dar como resultado pérdidas ambientales o en la salud humana.

En la actualidad se están implementando alternativas para la gestión del tratamiento del agua, a través de la integración de infraestructura gris con verde, la innovación tecnológica e incentivos económicos para inversionistas en el sector. En México es necesario superar grandes obstáculos administrativos y operativos para la plena implementación de este enfoque. Si bien el país cuenta con 2,477 plantas de tratamiento, sólo el 57 % de las aguas municipales recolectadas a través del sistema de drenaje reciben tratamiento.

Considerando este contexto, el objetivo de la mesa “Economía circular en el sector hídrico” fue reflexionar sobre las oportunidades y las condiciones necesarias que permitan implementar el modelo de economía circular como una vía para alcanzar la sustentabilidad de los recursos hídricos en México.

## La economía circular y su incorporación al sector hídrico

**Dra. Maricarmen Espinosa Bouchot**

La economía circular es un concepto que pretende transformar o rehacer el diseño, la producción, el consumo y el desecho de la economía lineal. Los recursos de los que parte nuestra economía son escasos, todas las materias primas y la energía son cada vez más limitadas. La propuesta de la economía circular es la reconfiguración del diseño, producción y utilización para una gestión sostenible, de tal manera que el uso de esos recursos, materiales y energía, utilizados

en los procesos, se mantengan el mayor tiempo posible en este proceso circular y se minimicen los residuos.

El resultado de la economía lineal deviene en cuerpos de agua contaminados y ecosistemas completamente deteriorados. El planteamiento de la economía circular es precisamente la minimización de los residuos a través de la conversión de los mismos en una nueva materia prima a la que se le pueda dar otro uso y mantener los recursos dentro de este círculo de transformación.

Generar menos residuos es una forma de transitar hacia un estado sostenible, ya que tiene mucha incidencia para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODS). La economía circular se inserta en diferentes objetivos de la Agenda 2030, por ejemplo, el objetivo 7, relacionado con la energía asequible y renovable; el objetivo 9 acerca de la innovación, infraestructura e industria, las cuales son áreas que representan un reto. Es importante reflexionar sobre el tipo de energía renovable necesaria para hacer productos innovadores, usando la menor cantidad de materia y energía, así como la reducción de los residuos derivados del proceso.

Si se minimiza la producción de residuos, y, además, se hace un uso sostenible de ellos, estas acciones van a impactar al clima y medio ambiente incidiendo de forma directa en el objetivo 13. El objetivo 14 es otro ejemplo, relacionado con la contaminación marina y los microplásticos, o el objetivo 15 que está enfocado en la vida de los ecosistemas terrestres.

Todo esto se vincula con el sector hídrico a través del objetivo 6, referente al agua limpia y saneamiento. En este objetivo se plantea el reto de reducir a la mitad la brecha de tratamiento de las aguas residuales, lo que se traduce en una mayor inversión y una oportunidad para la economía circular, en especial para que los organismos operadores de las plantas de tratamiento fomenten el reuso de las aguas residuales. Las aguas residuales tienen el potencial para implementarse en el riego agrícola, en la recarga de acuíferos, generar lodos residuales o energía. En ese sentido, el vínculo entre la economía circular y el sector hídrico se presenta a través de la reutilización de las aguas residuales.

**Sr. Jerome Poussielgue**

La economía circular es el reaprovechamiento de los recursos naturales dentro del proceso de transformación económica. Las prácticas de economía circular en el sector hídrico se observan en el reciclaje de las aguas residuales, pero para ello es indispensable invertir recursos financieros y desarrollar tecnologías que permitan que el agua sea utilizada en todos sus ciclos de vida: primero como agua potable, des-





► Sr. Jerome Poussielle, representante de la delegación adjunta de la Unión Europea en México.

pués en la agricultura y más tarde en otros procesos de limpieza o industriales.

Lo que se propone desde la Unión Europea es un cambio de paradigma, es decir, transformar la manera en que las personas viven y consumen. En Europa el precio del agua se ha elevado como medida para animar a las personas a ser más cuidadosas con este recurso; también se han implementado normas para incidir en la conducta individual. De tal modo, las personas comprenden que el agua no es un bien ilimitado y somos responsables de su cuidado para las generaciones presentes y futuras.

En el sector alimentario se están presentando movimientos sociales, en los cuales se argumenta que hay algunos bienes de consumo que significan un alto uso de agua o su producción es contaminante. En general, en la Unión Europea se está promoviendo una sociedad más respetuosa del medioambiente, mediante un mejor uso del agua y de la energía a través de la reutilización de los recursos.

#### Mtro. Ricardo Sandoval Minero

La economía circular no es un modelo nuevo. Por ejemplo, medidas como el reúso del agua ya eran implementadas con anterioridad. En el tema del agua, en particular, se presentan cuatro tipos de actores: los ejecutores, las personas que trabajan en campo, los pensadores en la universidad –quienes diseñan y proponen las tecnologías– y los predicadores, quienes están proponiendo ideas innovadoras cada cierto tiempo.

La reflexión más importante alrededor de la economía circular es comprender que ya está operando y que influye en el entorno natural, económico e institucional en la búsqueda por lograr una eficiencia económicamente posible y ser ambientalmente responsable.

La economía lineal tuvo su lógica dentro de un modelo de producción menos complejo. La naturaleza se encargaba de

disponer de los desechos relativamente simples. No obstante, con el aumento de la producción industrial fue indispensable la organización y la conciencia social respecto de las consecuencias de una producción lineal. La principal cuestión, en el caso de las universidades, es profundizar en las herramientas que permitirán la viabilidad de la economía circular.

Presenciamos las consecuencias de la contaminación, de una mayor competencia entre usos de los recursos, del impacto sobre el clima y la biodiversidad. Ante estas problemáticas, emerge la inquietud de que algo debería de ser diferente. En algunas regiones se está realizando una serie de reformas financieras, institucionales y legales para implementar medidas que reduzcan o mitiguen esas situaciones.

La economía circular es una buena vía, pero su implementación no es tan sencilla como cerrar el ciclo lineal de producción. Se requiere la comprensión de los múltiples ciclos en los que incide un proyecto en términos biofísicos, económicos y socioterritoriales.

Es indispensable reflexionar sobre la oportunidad que representa implementar un modelo de economía circular en México, así como la gestión del agua en este país. Tenemos que articular ideas para que no sea solo una propuesta, sino que también se realicen cambios institucionales, financieros, económicos y de comunicación necesarios hacia un nuevo paradigma.

## Prácticas de economía circular en el sector hídrico

#### Dra. Maricarmen Espinosa Bouchot

De las 2 500 plantas de tratamiento de aguas municipales que se tienen registradas en México, aproximadamente el 1 % genera biogás, y de ese 1 %, la mitad lo están usando para fines específicos. Por ejemplo, algunas plantas son la de San Pedro Mártir, en Querétaro, la de Agua Prieta, y el Ahogado, en Nuevo León, y alguna otra en Aguascalientes. También la macroplanta de Atotonilco, que se encuentra en el estado de Hidalgo.

El objetivo de estas plantas es que los lodos primarios y los secundarios pasen a una digestión anaerobia para reducir la carga de materia orgánica, producir biogás y calor; el calor es utilizado en la digestión anaerobia, ya sea mesofílica o termofílica, según sea el caso de cada planta de tratamiento, y el biogás se emplea para generar energía eléctrica.

Otro caso, en la Ciudad de México se encuentra la planta de tratamiento de Chapultepec. El agua residual de esa plan-



► Dra. Maricarmen Espinosa Bouchot, coordinadora de Tratamiento y Calidad del Agua del IMTA.

ta, en la época de estiaje, se utiliza para rellenar los lagos de la primera y de la segunda sección del Bosque de Chapultepec, así como para el riego de los jardines, mientras en la época de lluvia, el agua residual recibe un tratamiento, con el fin de poder recargar el acuífero.

La macroplanta de Atotonilco, donde el agua residual tratada sirve para el riego agrícola, es un caso especial porque, aunque los agricultores del Valle del Mezquital no están muy contentos porque se disminuye la carga orgánica, al final tienen varios beneficios ambientales.

En Nuevo León hay una planta de tratamiento que tiene convenio con Pemex, por lo cual la empresa estatal lleva a cabo la operación y mantenimiento de esa planta; como beneficio utiliza el agua y genera vapor en su refinería de Cadereyta. Es un ganar-ganar porque el municipio deja de gastar en el saneamiento, en el manejo y en la operación de la planta.

Otro caso es en Ciudad Lerdo, Durango, donde el municipio tiene concesiones con la planta de tratamiento; la concesionaria realiza el tratamiento terciario y el agua se vende a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), quien la utiliza para las torres de enfriamiento de su central termoeléctrica. El intercambio consiste en que la CFE les condona o les reduce la tarifa de la energía eléctrica por la operación de la planta.

Como se observa en estos ejemplos, el agua residual tratada sirve para los fines de cada una de esas actividades y se mantiene en este círculo de economía virtuoso que queremos encontrar en este nuevo paradigma.

### Sr. Jerome Poussielgue

Las personas piensan que los recursos naturales son infinitos y que no tienen un valor económico, pero justamente entendidos como bienes comunes deben ser gestionados de manera correcta.

Hay un principio en la política de protección al medio ambiente en la Unión Europea, el cual indica que quien contamina paga. Las empresas que utilizan mucha agua o que emiten gases tienen que pagar el precio justo por lo que ellos contaminan, entonces se les factura el agua en relación con su costo de producción y no hay un precio especial para las empresas. Así cuando la gente tiene que pagar algo lo piensa y lo usa mejor.

También hay nuevas tecnologías que permiten la producción con menor impacto ecológico, pero suponen una inversión. Un ejemplo son las empresas contaminantes, como las papeleras que usan los árboles para transformarlos, para hacer pasta de madera, un proceso altamente contaminante en relación con el agua.

En la Unión Europea se está ejecutando un cambio en la legislación. Hemos adaptado las tarifas de consumo del agua o de otros productos; prohibimos totalmente los contaminantes, hay productos que no se pueden utilizar más, por ejemplo: fertilizantes, DDT, plaguicidas que se ocupaban en la agricultura están prohibidos en la Unión Europea. También en el área fiscal hay un cambio; se proponen incentivos fiscales que se otorgan a las empresas para adaptarse y ser más responsables con el medio ambiente.

Todo esto incluye un sistema de seguimiento y control, organizado por la Unión Europea, para ver que efectivamente se respetan las normas en el ámbito regional, después se integran los derechos de los 28 (pronto 27) estados de la Unión Europea. En lo que estamos luchando ahora es en el cambio de los hábitos de las personas. La idea es que cada uno sea un actor de transformación en la sociedad.

Todo ello a través de normas, incentivos fiscales, pago justo de los recursos y controles, por parte de las instituciones de los países miembros, quienes tienen que rendir cuentas a la Comisión Europea en Bruselas. Sin embargo, algunas de estas medidas generan una resistencia social; por ejemplo, en Francia la gente se opuso al aumento del precio de la gasolina, pese a que se insiste en la reducción del consumo de hidrocarburos porque son altamente contaminantes.

### Mtro. Ricardo Sandoval Minero

Dentro del sector hídrico generalmente se dirige la atención a los temas técnicos y del reúso. El caso más notable es el de Monterrey, una ciudad que desde los años 50 o 60 tiene reúso de aguas residuales. Sería interesante comprender cuáles fueron los factores que condujeron hacia la adopción de esas medidas. Para ello, debemos considerar el contexto de escasez, pero también otro tipo de condiciones que les

permitieron generar esa lógica de eficiencia. Actualmente es una ciudad sin tinacos y el tema del agua es algo prioritario.

La parte tecnológica no está relacionada exclusivamente con la posibilidad de reusar el agua, sino con nuevas formas de captar la lluvia, tanto en el ámbito doméstico como en el urbano. Hay nuevas formas de aprovechar los biosólidos o sólidos que se generan durante el proceso de saneamiento. Pero si bien ya existen las tecnologías, hay que generar las condiciones para entenderlas; en este caso podemos mencionar la electro-depuración, los sistemas de tratamiento más innovadores y las membranas de biorreactores, entre otros.

En la industria ya se están implementando tecnologías para recuperar insumos que antes se desechaban, en parte porque en el futuro ciertos insumos serán muy escasos en todo el mundo. Cuando hablamos de implementar nuevas formas de manejo del agua, el centro de atención está en la tecnología, pero no podemos dejar de lado el presupuesto. Sin embargo, en la ejecución de los proyectos se presentan ciertas limitaciones; por ejemplo, en el organismo operador de Guanajuato se buscaba vender los residuos sólidos ya estabilizados de la planta, pero resulta que hay un mercado y un programa de subsidios, además de un esquema legislativo que no favorece esas transacciones. Entonces, no basta con la tecnología, sino que es indispensable contar con financiamiento, profesionistas capacitados y mecanismos para que la ciudadanía entienda el problema y sea capaz de reaccionar. En ese sentido, además de garantizar la transparencia, las instituciones deben trabajar para que la información sea clara y se permita a la ciudadanía construir la capacidad de transformar sus prácticas de consumo en torno al agua. Es momento de pensar de manera diferente.

Bajo el esquema actual, con la falta de presupuesto y de personal, la única gran autoridad del agua del país no ha podido controlar las descargas de aguas residuales. Del 40 % de la capacidad instalada que tenemos en México para el tratamiento de aguas residuales, probablemente el 15 % no funciona, entonces ese 40% quedaría en 25%. Si bien es



► Mtro. Ricardo Sandoval Minero, consultor en Agua y Saneamiento del Banco Internacional de Desarrollo.

más que el promedio latinoamericano, es mucho menos de lo que necesitamos en el país. Entonces, necesitamos cambiar, tener la disposición de ser transparentes e implementar alternativas para la resolución de los problemas hídricos.

## Retos económicos, normativos, sociales y tecnológicos para el desarrollo de proyectos bajo el esquema de economía circular

**Dra. Maricarmen Espinosa Bouchot**

En el tema de la legislación para regular la descarga cuerpo-receptor contamos con la NOM-001, emitida en 1996. Desde entonces no ha sido actualizada. En ese tiempo los contaminantes eran específicos, en cambio en la actualidad existe una serie de contaminantes que no pueden ser removidos por las plantas de tratamiento porque no están diseñadas para ello. Todos los residuos generados retornan cuando los extraemos del acuífero. Ahora abundan los contaminantes emergentes, tales como los micro plásticos. Por esta razón es urgente actualizar la norma.

Algunos gobiernos municipales no están cumpliendo con la norma. Se necesita reforzar la vigilancia para verificar que se estén cumpliendo las condiciones para las descargas hacia los cuerpos receptores, no solo de las plantas de tratamiento municipales, sino también las de la industria. Tenemos ríos como el Atoyac, el Lerma, el Santiago, entre otros que están completamente contaminados porque no hay una supervisión adecuada.

La NOM-001 no considera muchos contaminantes; no obstante, existen las Declaratorias de Clasificación de Cuerpos de Aguas Nacionales, instrumento de la Comisión Nacional del Agua, en donde se indica la capacidad de asimilación de los contaminantes en los cuerpos de agua, bajo el principio de que todos los ecosistemas tienen una forma de regeneración natural, considerando la hidrodinámica, las condiciones del propio cuerpo receptor y las de la descarga. A través de este instrumento se pueden establecer las condiciones particulares y metas de calidad alcanzables en diferentes tramos de un cuerpo receptor, con el fin de recuperar estos tramos de agua. Por ejemplo, está la Declaratoria del río Lerma o la del río Atoyac, pero no basta con que exista la normatividad, es necesario cerrar este ciclo de gestión con un sistema adecuado de vigilancia y de sanciones para quienes incumplan con las normas que estén establecidas.

Por otro lado, está la cuestión del usuario responsable, porque cada persona que conforma la sociedad es partici-

pe del problema. El agua residual la generamos todos y no pensamos en las posibles consecuencias que esto ocasiona. Por ejemplo, si bien el agua tratada se puede beber, debido a que la tecnología no es un impedimento, el problema está en lograr los niveles aceptables para el consumo humano y en el costo de ese proceso. El agua potable de la Ciudad de México viene de una planta potabilizadora (Los Berros), la cual se localiza en Valle de Bravo.

Generar conciencia a través de la educación es imprescindible para coordinar y vincular esfuerzos desde la CO-NAGUA, con grandes instituciones como la UNAM. Los universitarios deben ser promotores de una economía más responsable. Habrá que aprovechar los conocimientos para que la academia sea parte de este cambio, e incidir entre los tomadores de decisiones y en las instituciones públicas. La Universidad tiene la responsabilidad social de apoyar a las comunidades y de resolver los problemas prioritarios para la sociedad en su conjunto.

### Sr. Jerome Poussiélgue

En el campo de la política debemos rebasar los intereses sectoriales por un bien mayor. Por ejemplo, en Europa muchas empresas hacen lobbying en el parlamento legislativo para que los representantes no voten a favor de tomar medidas de conservación del agua; estos grupos tienen una fuerza enorme. Todo esto desemboca en la voluntad política; el gobierno debe estar convencido primero, y también debe considerarse la presión que puede ejercer la ciudadanía.

México fue el primer país en firmar el acuerdo de París, en el cual hay un cierto número de normas, las cuales deben incidir en las políticas públicas de cada país para cumplir con las iniciativas de este acuerdo. Entonces, debemos reflexionar si el Gobierno de México está tomando las medidas suficientes para conservar los recursos y garantizar un futuro viable para las personas. Con voluntad política los legisladores deben trabajar para adaptar las normas e implementarlas.

Respecto a la aplicación de la ley, donde también intervienen los grupos de presión, públicos y privados, las modificaciones a la fiscalidad, como los incentivos, coadyuvan a lograr un mejor uso del agua. En Europa, al aumentar el precio del agua, la gente consume menos porque le cuesta más, entonces ya hay un incentivo para no desperdiciarla.

Sobre el proceso de vigilancia y control, no solo es tarea del Estado y de sus dependencias, sino también del ciudadano. La prioridad es la concientización de las personas, para que puedan entender que los recursos naturales no son infinitos.

En Europa tratamos de mantener las reservas de agua; para ello se generó una política europea sobre la limpieza de los ríos y los lagos. Hay modificaciones para que las comunidades tengan su sistema de desagüe y que no tiren sus aguas sucias en el lago, o se prohíbe el tráfico con motos sobre los ríos, los lagos y las playas. Se cuenta con un sistema de señalización europeo en las playas. Por ejemplo, una playa con etiqueta azul es limpia. Si no se garantiza una disposición adecuada de los residuos, es probable que aumenten las enfermedades y otros riesgos.

### Mtro. Ricardo Sandoval Minero

El principal reto es atrevernos a pensar distinto y de manera más constructiva. Respecto al manejo del agua, en México ya se están tomando medidas, pero es necesario mantener una continuidad para generar resultados. Por ejemplo, en Guajuato, se tenía una capacidad del 30 % para el tratamiento de aguas residuales, y ahora se tiene más del 80 %.

Las tecnologías funcionan, pero en México necesitamos una actitud más constructiva. Es preciso establecer un orden en la administración del agua, desde las dependencias federales. Además del marco legal y financiero, es muy importante considerar la capacitación, la tecnología, la transparencia y el trabajo comunitario para que de ese modo persistan los programas integrados y constructivos en torno al uso del agua.

## Conclusiones

- Los principales retos para la implementación de un enfoque de economía circular en la gestión de los recursos hídricos abarcan los de carácter normativo (reformas jurídicas, revisión de las normas, aplicación de la ley y seguimiento); los de carácter tecnológico (mecanismos de eficiencia, diseño de la infraestructura, innovaciones para el aprovechamiento de insumos); los de carácter social (cultura del agua, educación ambiental, convencimiento público). Las soluciones deben ser integrales, complementarias e híbridas, considerando cada una de estas áreas. La economía circular del agua o del sector hídrico abre la posibilidad de repensar la gestión del agua de manera integral y sustentable, y no desde la economía lineal de extracción, uso y descarga residual. Al reutilizar el agua tratada para diferentes usos es indispensable poner atención en la calidad del agua residual, en las diferentes alternativas tecnológicas de su tratamiento, en enfatizar en el ahorro de agua potable, y en promover los incentivos o desincentivos económicos para tomar decisiones del uso del agua.





► Mtro. Eduardo Vega López, director de la Facultad de Economía.

- La realidad del agua en México es similar a otras realidades latinoamericanas. Por ejemplo, con cifras mexicanas aproximadamente el 76 % del consumo nacional de agua está concentrado en los usos agropecuarios, específicamente los agrícolas, y centradamente en los 87 distritos de riego que tenemos en el país. Si este dato lo

contrastamos con el peso, en términos del 3 % del PIB, proveniente del sector agrícola en México, nos abre el cuestionamiento sobre si es posible hacer un mejor aprovechamiento, considerando el uso económico directo del agua para producir bienes imprescindibles, pero con menor desperdicio hídrico y manteniendo la perspectiva de la ingeniería hidráulica, en conjunto, con criterios de carácter hidrológico y de economía ambiental.

- A partir de la economía circular es posible proponer un nuevo enfoque para la gestión del sector hídrico. Para ello se requiere reconocer y hacer explícito el valor del agua. Por ejemplo, los usos productivos directos, extractivos y consuntivos que realiza el sector agropecuario o el sector industrial, tienen costos asociados al agua muy diferenciados. Por ello es indispensable redefinir la institucionalidad de la gestión del agua bajo el concepto de economía circular. 

---

## Gestión de acuíferos y su recarga



► De izquierda a derecha: El Dr. José Antonio Hernández Espriú, el Dr. Heber Saucedo Rojas, la Mtra. Adriana Palma Nava, y el Ing. Luis Velázquez Aguirre.

**E**n la mesa de análisis *Gestión de acuíferos y su recarga*, moderada por la Mtra. Adriana Palma Nava, coordinadora del grupo de análisis “Recarga Artificial de Acuíferos”, se dieron cita el Dr. José Antonio Hernández Espriú, profesor de la Facultad de Ingeniería-UNAM, el Dr. Heber Saucedo Rojas, gerente de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional de Agua, y el Ing. Luis Velázquez Aguirre, director de BETSCO S.A. de C.V.

El agua subterránea representa el 98 % del agua dulce en el mundo. Su extracción y uso se ha incrementado de manera significativa en las últimas décadas, debido al visible deterioro de la calidad y cantidad de agua de las fuentes superficiales. El acuífero es la unidad hidrogeológica con las condiciones biofísicas en las que se desarrolla una serie de procesos bioquímicos que permiten el aprovechamiento humano de los recursos hídricos subterráneos.

El agua subterránea tiene una importancia significativa para México. Suministra cerca del 70 % del agua a las ciudades; constituye una fuente de abastecimiento permanente para las regiones áridas y semiáridas del país, y permite el riego de poco más de la tercera parte de la superficie total irrigada en el territorio nacional.

La recarga de los acuíferos puede ser un proceso natural, artificial o incidental. La recarga natural se efectúa por la infiltración directa de lluvia o de la filtración de cuerpos de agua adyacentes; por su parte, la recarga incidental ocurre de manera involuntaria en actividades como el riego, las fugas en la red de distribución, entre otras. En un contexto de escasez, la recarga artificial ha sido considerada como una herramienta para alcanzar la gestión sostenible de agua subterránea.

La recarga artificial de acuíferos es un conjunto de técnicas que permiten, mediante introducción directa o inducida, aumentar el almacenamiento, prevenir la intrusión salina, mejorar la calidad del agua, controlar el avance de hundimientos y agrietamientos, entre otros beneficios.

La recarga del agua subterránea depende de varios factores, como la capacidad de infiltración del suelo, los períodos de precipitación y variables climáticas. Algunos de los factores que ponen en riesgo la salud de los acuíferos son los cambios en el ciclo hidrológico causados por el cambio climático, la excesiva y constante extracción de agua, los contaminantes orgánicos y químicos del agua, la erosión del suelo, entre otros.

Algunos de los retos identificados a escala global, para impulsar la recarga artificial, son: mejorar la cooperación transfronteriza para el manejo conjunto, regular las extracciones y los métodos de recarga, generar incentivos económicos y ambientales para la protección de los acuíferos, entre otros.

En este contexto, la mesa “Gestión de acuíferos y su recarga” tiene por objetivo explorar las propuestas y alternativas técnicas, científicas, financieras e institucionales para impulsar el manejo de la recarga de los acuíferos.

## Métodos y alternativas para la recarga artificial de los acuíferos

**Dr. José Antonio Hernández Espriú**

Los métodos son particulares de cada contexto hidrogeológico. En términos generales, en el caso de México habría que identificar las características de los acuíferos con mayor explotación intensiva, y profundizar en las cifras de extracción y recarga porque son una gran incógnita en el país.

De forma particular, los métodos de disponibilidad utilizados actualmente están muy limitados. El método de balance es muy criticado; no obstante, seguimos balanceando los acuíferos para estimar la recarga.

Para transitar hacia otros métodos se requiere identificar las características esenciales de los acuíferos que serán gestionados. Lo primero que tendríamos que saber es cuál es su recarga natural y su variación espacio temporal. En segundo lugar, es indispensable priorizar la geología para determinar los métodos. Por ejemplo, en algunos contextos hidrogeológicos el método de infiltración, a través de laguna, puede ser altamente efectivo, pero en partes de la Cuenca de México, donde tenemos un acuitardo de 70 hasta 300 metros de espesor con una formación arcillosa, impediría la infiltración natural.

Desde el punto de vista de la geología se tiene que determinar la profundidad del nivel estático, freático y piezométrico del acuífero que queremos gestionar; también se debe determinar si es un acuífero somero o profundo. Con estos datos podemos identificar el método más pertinente. Por ejemplo, en un acuífero como el de San Miguel de Allende, de más de 150 a 180 metros de profundidad, para hacer una infiltración somera se requiere una caracterización de la hidroestratigrafía de la zona vadosa, con el fin de determinar que verdaderamente es una laguna de infiltración, porque después el nivel se incrementará entre 180 o 200 metros de profundidad. En esta situación, lo más lógico sería proponer pozos directos de infiltración.

Si se plantea recargar la Cuenca de México por infiltración directa, es indispensable conocer la presencia, espesor y características del acuitardo. En zonas donde se tienen dos acuíferos, como en Piedras Negras, Coahuila, habría que determinar qué acuífero queremos gestionar. Un ejemplo donde la infiltración directa puede ser efectiva es en el acuífero del Salinas, Reynosa, porque la profundidad del nivel estático está entre siete u ocho metros de profundidad y el conglomerado es bastante permeable. En las calizas profundas de la Formación Cupido y la Formación Aurora, donde tenemos un acuífero confinado a 300 metros de profundidad, y arriba de esas calizas, hay una serie de acuitardos limo, arcillosos y margas, donde forzosamente se tendría que hacer una infiltración directa en el subsuelo.

En suma, no existe un método efectivo *per se* en el mundo; cada acuífero debe ser gestionado con diferentes metodologías, dependiendo de la geología, el tipo de acuífero y la hidroestratigrafía.

### Ing. Luis Velázquez Aguirre

Para adentrarnos en los métodos y las alternativas sobre la gestión es preciso considerar la situación particular de cada acuífero. En un Foro sobre la recarga en el Valle de México, se cuestionó dónde serían los sitios más adecuados para recargar el agua en este lugar. Esto depende de dónde se ubica el agua que vas a recargar, entre más cerca es mejor. Quizá la mejor condición sean los basaltos del sur, aunque se generarían altos costos. Se puede inyectar agua en el lago de Texcoco, pero es preciso resolver el pasar el confinante.

Si cualquier inversionista, privado o del Gobierno, solicita hacer un puente para cruzar una barranca, por más difícil que este sea la ingeniería lo resuelve; entonces, las alternativas dependen del contexto, y con ello se puede determinar qué tanta agua le podemos inyectar o infiltrar a un acuífero.

También depende de los tipos de materiales. El IMTA tiene un trabajo del 2018, una recopilación de la recarga de acuíferos, en la cual presenta ejemplos en el mundo y en México; ahí se define que las técnicas para recargar se dividen en las que interceptan el agua y en las que infiltran agua. En el caso de la intercepción del agua se modifican los cauces de arroyos y ríos, aquí entra la captación de agua de lluvia.

Respecto a la infiltración del agua se agrupan dos métodos: el método de distribución en cuencas y estanques, donde se capta el agua y se hacen pozos para infiltrarla e inyectarla, y el método de recarga directa en pozos, la infiltración del agua directa en la zona saturada, mediante pozos someros o profundos. Hay pozos de recarga o de infiltración de lluvia que son someros; existe una norma en relación que es la NOM-015-CONAGUA; convendría mencionar que hay un problema asociado con el uso de estas estructuras, ya que se tiene la posibilidad de introducir suelo en suspensión y compuestos orgánicos.

También hay que tomar precauciones respecto al método utilizado para depurar el agua de lluvia. Se ha mencionado que en algunos países se utiliza el agua de lluvia, ya sea

para tomarla directamente o para infiltrarla; al principio de la temporada de lluvias se presenta una serie de contaminantes en la atmósfera, pero más avanzada la temporada se puede obtener una mejor calidad.

### Dr. Heber Saucedo Rojas

La solución técnica de recarga gestionada de los acuíferos es un ámbito que compete a la ingeniería, pero está condicionado a cuatro factibilidades: técnica, económica, social y ambiental.

Cada una de estas tiene sus propios problemas. En el caso de la factibilidad económica se tendría que considerar si es el Gobierno quien realizará las inversiones; de ser así se requiere una tasa de descuento mínima del 10 %. Puede ser el proyecto mejor conceptualizado y más innovador, pero es difícil que la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) lo apoye de manera directa.

En el tema de la factibilidad social es importante considerar la ubicación donde se realizará la recarga y los niveles de la misma. Por ejemplo, hay una distancia considerable entre el cerro de La Estrella y la planta de tratamiento y los pozos. Hay que tener en cuenta una línea de conducción que seguramente no será del agrado de muchos de los habitantes. Estos son aspectos que deben ser considerados a la hora de ejecutar el proyecto.

La factibilidad ambiental está suficientemente resguardada con las normas 014 y 015, en las que para efectos de recarga inducida o del acuífero es necesario establecer un proyecto piloto de recarga, sobre todo en el caso de recarga superficial y sub-superficial, en el que se verifique la efectividad de un método en particular. Sería importante que, en todos los acuíferos de México se describiera con el elemento finito en tres dimensiones, usando la ecuación de Richards, la zona vadosa como la zona saturada.

La misma norma visualiza a la zona más saturada como un medio más atenuante, lo cual es cierto; hay un concepto de biofiltro, de filtro tanto químico como biológico, en la zona más saturada que tiene desde los años de 1960 y que ha sido sujeto de diversos análisis. Deben verificarse las condiciones geológicas, la conductividad del medio y la tasa de infiltración. La caracterización hidrodinámica de los medios es complicada, tanto del poroso como del fracturado.

Coincido en que cada sistema de recarga depende de las condiciones hidrogeológicas, pero sin dejar de lado las fac-



► La Mtra. Adriana Palma Nava y el Ing. Luis Velázquez Aguirre.



► Dr. Heber Saucedo Rojas durante su intervención.

tibilidades que se han mencionado al momento de plantear el proyecto. Hay un área de oportunidad para modelar la interacción entre la zona no saturada-saturada y un sistema de recarga artificial con la ecuación de Richards.

## Retos para desarrollar proyectos de recarga artificial de acuíferos en México

**Ing. Luis Velázquez Aguirre**

El principal reto es la falta de agua con las condiciones necesarias para la recarga. La fuente de recarga se concentra en aguas residuales tratadas, además del agua de lluvia en zonas urbanas. Sin embargo, se presenta una limitante en la normatividad, específicamente en la NOM-14-CONAGUA-2003, en la que se establecen los requisitos para la recarga artificial: la calidad del agua, la operación y el monitoreo utilizados en los acuíferos con agua residual tratada. Esta norma es aplicable a obras planeadas de recarga artificial, tanto nuevas como existentes, que descarguen aguas residuales tratadas para almacenar e incrementar el volumen en los acuíferos, para su posterior recuperación y reúso. Por ninguna razón implica una concesión para la extracción del agua.

Dentro de esa norma hay un punto en el que se indica que a distancias menores de un kilómetro del límite exterior del sistema de recarga artificial existan captaciones que suministren agua para usos público-urbano o doméstico, pero si no hay un pozo para abastecimiento urbano dentro de un kilómetro no hay problema, con que cumpla la calidad se puede hacer. Si hay un pozo para abastecimiento urbano dentro de los 1 000 metros, entonces la norma indica que se lleve a cabo un proyecto piloto, una modelación de hidrogeoquímica, un modelo de flujo, un modelo de transporte en masa y así cumplir con límites de calidad muy específicos. En ciertos casos, queda a juicio de la CONAGUA o de un funcionario de esta dependencia, en un aspecto discrecional.

En relación con el proyecto piloto, cito lo que dice la norma “proyecto de recarga in situ, cuya operación tenga la duración suficiente para determinar: la calidad del agua resultante de la mezcla del agua de recarga con el agua subterránea nativa, la interacción del agua de recarga con el subsuelo, la respuesta de los niveles de agua a la recarga y las variaciones de la tasa de infiltración en el tiempo”. En esta norma encontramos algunas ambigüedades respecto a qué se refiere con duración suficiente y quién decide ese valor.

Posteriormente se establece una norma para determinar si es pertinente autorizar la construcción de un sistema de recarga artificial con base en los resultados de los estudios básicos, el proyecto piloto, los análisis químicos y el agua de mezcla. Si se reúnen estas condiciones, entonces se permitirá su construcción. La pregunta es ¿si todavía no existe el permiso para construir una planta, de dónde se obtiene el agua para la mezcla del proyecto? Los tiempos y alcances del proyecto piloto no deberían establecerse de esta manera.

Hay otra parte dentro de la norma que dice que una vez que la planta esté trabajando, hay que hacer un programa de monitoreo, hay que ubicar los pozos a un cuarto, a un medio y a tres cuartos del pozo de abastecimiento más cercano, todo esto considerando la existencia de un pozo de abastecimiento público urbano.

Imagínense un sistema de recarga donde la variable no es la distancia, sino la velocidad del agua. Esa es una variable importante para monitorear los efectos de la mezcla de la recarga. Por ejemplo, en un pozo de más de 100 metros, si el agua se mueve a 10 cm/día, ¿en cuánto tiempo voy a ver los efectos? Habría que adecuar la norma para que sea factible una recarga dentro de una zona con pozos dentro de 1 000 metros de distancia.

**Dr. Heber Saucedo Rojas**

El principal reto en la recarga es que los estímulos fiscales no son suficientes, porque estos se consiguen hasta cumplir con la normatividad, la cual es bastante exigente para conservar la calidad de los acuíferos. Hay algunos puntos que se pueden trabajar en la norma; en los próximos días se reunirá el comité que elaboró la norma 014 y la norma 015, de recarga artificial con agua residual tratada y de recarga de agua pluvial.

En el 2020 se actualizarán esas normas; el primer paso para modificarlas es consultar a la entidad normativa; en particular en este caso hay varios puntos que se pueden mejorar. Entonces, se someten a un proceso de renovación, considerando los fines prácticos del establecimiento de los sistemas de recarga.



Una experiencia trascendental es la de San Luis-Río Colorado en el sistema de recarga mediante lagunas. En esta zona no se ha podido obtener un beneficio directo de la recarga superficial, porque inyectan el agua que se infiltra, además tiene un contenido de cloro que supera los límites permisibles de la norma 127 de la Secretaría de Salud y Asistencia. En el acuífero donde está asentado el proyecto se extrae el agua, la distribuyen en la ciudad y de alguna manera regresa al acuífero. La inyectan o la recargan por un método de infiltración superficial, pero esa agua infiltrada tiene cloro, así como la sacaron, así la regresan.

La norma indica que la calidad de infiltración debe ser igual a la del agua potable. Aquí hay una paradoja, ¿para qué la voy a infiltrar si ya es potable? Una parte de la modificación que se realizará sobre esa norma, es que se requiera para la recarga una calidad mínima del agua igual al recurso nativo o superior. Continuando con el ejemplo de San Luis Río Colorado, si ya tiene agua con relativamente alto contenido de cloro, ese parámetro ya no va a estar sujeto de más análisis al momento de realizar la infiltración para la recarga del acuífero, por lo cual el organismo operador podrá acceder a un certificado de calidad y, por tanto, es sujeto de créditos fiscales.

Evidentemente es necesario que en los volúmenes que están siendo infiltrados se respete al menos la calidad nativa. También hay que verificar si existen posibilidades de hacer recargas de aguas residuales con tratamiento secundario, pero hay que considerar el flujo de agua subterránea.

Existen algunas regiones del país donde hay recarga para uso exclusivamente agrícola. Ese esquema se aplica en Israel; desde hace tiempo utilizan métodos como la desalación del agua marina. Podríamos adaptar estas medidas, considerando las condiciones de nuestro país, con respecto al kilómetro que se menciona en la norma. Hay que utilizar herramientas de la hidrodinámica y de la hidrogeología para que ese kilómetro se establezca en términos de las zonas de captura de los pozos, es decir, una proyección horizontal del cono de abatimiento, que es el que genera la operación del pozo que se parece a la curvatura del espacio y del tiempo que predijo Albert Einstein. Esta proyección nos permitirá tomar decisiones objetivas.

Un asunto muy importante es que hay proyectos de recarga en el país que quieren recargar superficialmente los ríos modificando el cauce, es decir, aumentando la tortuosidad del cauce, pero lo quieren hacer en cuencas de México, donde el agua superficial está comprometida. Este tipo de proyectos genera problemas legales.

### Dr. José Antonio Hernández Espriú

El primer reto es sobre el agua fuente. La tendencia mundial es utilizar agua tratada, y una tendencia más específica consiste en no construir plantas de tratamiento tan grandes, ubicar núcleos urbanos pequeños y hacer plantas de tratamiento más reducidas y que sean lo más efectivas posible.

Si vas a potabilizar el agua hay que enviarla a la red ¿para qué la inyectas al acuífero? si utilizamos el componente de la zona vadosa y el *soil acid pretreatment*. El agua del acuífero no requiere potabilización, inyectamos con agua reclamada con una planta de tratamiento.

Otro de los retos es el desconocimiento de gran parte de la hidrodinámica de los acuíferos. Tenemos un conocimiento hidrogeológico muy bajo de la república mexicana. Es necesario establecer los límites geológicos de cada acuífero, no solamente una división administrativa, porque la geología es mucho más compleja. Es necesario mejorar el conocimiento hidrogeológico de los acuíferos, la recarga natural, la calidad de fondo y los parámetros hidráulicos. Si se siguen autorizando pruebas de bombeo de 3 o 4 horas, sin algún tipo de recuperación, sin pozos de observación, en pozos que desde hace 30 años tienen pérdidas de carga con daños en la captación, entre otras cuestiones, los problemas seguirán incrementándose.

Otro punto, en cada Foro sobre el agua subterránea los hidrogeólogos defienden el tema del agua subterránea, pero en general sigue teniendo poca importancia en México. El agua superficial se lleva los mayores presupuestos. El principal efecto de la poca relevancia que se le da a la hidrogeología en el país es que limita los proyectos y el presupuesto a las cuestiones de recarga gestionada de los acuíferos.

En general la normatividad es bastante inflexible; es indispensable modificar el marco legal con información suficiente, en una ley de transparencia. Si queremos utilizar información específica tenemos que recurrir a instancias como el INAI, por ejemplo, para solicitar los niveles piezométricos; en otros países esos datos están disponibles desde hace muchos años. Con datos e información accesibles podríamos lograr un entendimiento más claro de los acuíferos, desde el punto de vista de la academia.

La CONAGUA mide la piezometría de muchos acuíferos, en temporadas secas y en lluvias; tiene datos sobre calidad de agua, diseños constructivos, ubicación de los pozos y conoce la ubicación de pozos clandestinos. Con el fin de completar la labor académica en la investigación hidrogeológica se requiere de apertura en la información para, con ello, proponer mejores proyectos de sistemas gestionados de la recarga.

## Áreas de investigación para la implementación de proyectos de recarga artificial

**Dr. Heber Saucedo Rojas**

En términos de investigación hay un gran avance respecto a la capacidad de cómputo; ahora podemos implementar una ecuación diferencial altamente no lineal para comprender el flujo que produce un sistema de recarga superficial o subterráneo y la interacción que genera con la zona saturada. Tenemos que hacer aproximaciones a la porosidad dual, modelar las fracturas, usando esquemas de medios duales, si es que se asemejan a una naturaleza porosa.

Además de la teoría de medios duales, es posible modificar la misma ecuación diferencial que regula el flujo o el transporte, usando cálculo fraccionario o elementos fractales para describir las caracterizaciones hidrodinámicas de los acuíferos o de los medios donde se ejecuta el proceso de infiltración.

En materia de investigación hay muchos temas pendientes. La naturaleza en sí es compleja y debemos entenderla con herramientas que permitan diseccionar esa complejidad. Por ejemplo, a través de métodos numéricos, de programación, aprender a programar en lenguajes de bajo nivel C++ o el Ensamblador. Con estas herramientas se pueden modelar sistemas de recarga inducida de tipo superficial; si tienen en cuenta el régimen de fracturas o el sistema de fracturación, también se tendría que incorporar usando al menos un sistema de porosidad dual y el flujo del agua.

Con la información que existe se puede hacer algo, por ejemplo, una piezometría continua. No hay un presupuesto destinado todos los años sobre un mismo acuífero, sino que se asigna sobre distintos acuíferos.

La base de datos de piezometría es totalmente pública, se puede acceder a la página de la CONAGUA. No tiene infor-



► Mesa “Gestión de acuíferos y su recarga”.

mación de los 653 acuíferos por razones diversas, entre ellas que no todos tienen el mismo nivel de desarrollo o se presentan problemas para el financiamiento de los proyectos de investigación. En efecto hay que trabajar en una modelación de flujo, de transporte, cuestiones de toxicología y de procesos biológicos. Es indispensable integrar disciplinas como la biología, para entender como interactúa el biofiltro en la zona no saturada o zona vadosa. Los procesos de biofiltrado están relacionados con los procesos de purificación o depuración final del agua para fines de la recarga.

**Dr. José Antonio Hernández Esprú**

Existen áreas potenciales de investigación para conocer y mejorar los sistemas gestionados de recarga; para ello se requiere implementar una línea de investigación, con el fin de desarrollar, aplicar, acoplar y adaptar mejores y más efectivas metodologías para estimar la recarga.

Hay mucho interés en los acuíferos; siempre se dice que son la principal fuente de abastecimiento; pero, en cuestión de financiamiento para la investigación, primero están las presas, las cuencas y los ríos.

La primera variable a conocer es si la recarga es natural; los balances que aplicamos hoy en día son insuficientes. Bredehoeft publicó el artículo *El mito de los balances en la hidrogeología*, y establece perfectamente esta ecuación de  $R_v + E_h - B - S_h - ETR = \Delta V(S)$ .

$R_v$ -recarga vertical	$E_h$ -entrada por flujo horizontal
$B$ -bombeo	$S_h$ -salidas por flujo horizontal
$ETR$ - evaporación	$\Delta V(S)$ -cambio de almacenamiento

Como lo único que no se conoce es la recarga vertical, el despeje está mal, por una simple y sencilla razón: estamos mezclando escalas de tiempo. La recarga vertical se da en cientos y miles de años en la mayoría de los acuíferos profundos, y la extracción se da en días, en meses, en años. Se están balanceando dos variables con escalas de tiempo diametralmente opuestas y es un error conceptual enorme en los balances. No es posible seguir estimando la recarga por medio de este despeje, hoy en día hay técnicas de percepción difusa, imágenes satelitales y otras instrumentaciones.

Un segundo aspecto es que hay que trabajar en un mapa regional de zonas que traten de priorizar la recarga gestionada de acuíferos. Existen ciertos elementos para saber cuáles son los acuíferos que están intensamente explotados; más o menos tenemos un orden de magnitud de las extracciones recarga; es decir, tenemos un orden de magnitud del



► Foro de la Mesa “Gestión de acuíferos y su recarga”.

estrés del agua subterránea. Con eso podríamos empezar a construir mapas regionales para más tarde ir hacia lo local.

Cuando estudiamos la recarga gestionada, desde un punto de vista local, se nos olvida el contexto regional; de hecho, ni siquiera contamos con un mapa hidrogeológico de México. Se requiere un mapa regional, a pesar de que los proyectos de recarga gestionada se dan a una escala local, porque con base en la teoría del flujo subterráneo de Tóth y la piezometría regional de un acuífero, no se deben cometer errores como inyectar agua en un punto de descarga natural.

La modelación numérica es el último paso; primero es necesario conocer la geología, el acuífero y la recarga. De nada sirve una modelación numérica con datos inventados, porque no se conoce la conductividad hidráulica, la recarga, la hidroestratigrafía y las calibraciones. La modelación numérica es fundamental, pero es el último paso, primero debe tenerse un conocimiento profundo del acuífero.

Finalmente, necesitamos una mayor vinculación entre la industria, la academia y las autoridades para trabajar en conjunto. Es una buena noticia que la piezometría es información pública, al menos podemos contar con los datos piezométricos de los acuíferos principales para tener un histórico y, con ello, generar análisis más profundos.

### Ing. Luis Velázquez Aguirre

Hay que profundizar en el conocimiento de los acuíferos, especialmente caracterizar los acuíferos someros y profundos, entender la relación entre unos y otros. La selección de los acuíferos no es banal, es un cuestionamiento que se hace en el ámbito internacional. En la literatura se indica hacia donde van las áreas de investigación asociadas con la recarga.

Si bien hay una idea generalizada de profundizar en el conocimiento en los acuíferos con intensa extracción, también se tendría que ahondar en los otros acuíferos. Se han

identificado dos problemas principales para recarga artificial en el mundo: uno de ellos es la colmatación, ya sea sub-superficial o a profundidad; y el otro es la calidad del agua a partir de la interacción, las modificaciones de la calidad del agua relacionada con la recarga.

La opinión internacional indica que “el manejo de la recarga de acuíferos para evitar riesgos a la salud y al medio ambiente, requiere profundizar el conocimiento, en particular en los procesos de colmatación e índices de atenuación de contaminantes, y de su generación en el suelo de los acuíferos; esto permite crear un tren de tratamiento óptimo y el logro de los objetivos de calidad del agua”.

## Conclusiones

- Para la gestión de la recarga del acuífero es necesaria la identificación básica del acuífero y los problemas relacionados con su estudio, a partir de la caracterización y entendimiento de sus propiedades geohidrológicas. Con base en estas observaciones, determinar el abordaje técnico de las unidades geológicas, como almacenadores y distribuidores de agua. Si bien la aplicación de la ingeniería es una herramienta vital para la gestión del acuífero desde un punto de vista técnico, es indispensable considerar la parte social, económica y ambiental.
- Pese a la existencia de una normatividad en México, en materia de recarga de los acuíferos, esta no corresponde al contexto de la realidad nacional. La normatividad orientada a conservar la calidad del agua y la salud de los acuíferos, no está considerando la gran ventaja geológica de la zona vadosa o del subsuelo, mediante la cual naturalmente se realiza una depuración del agua de recarga. Una gestión integrada requiere definir los objetivos del agua residual tratada, preservando los parámetros de calidad para cumplir los proyectos de recarga. Para ello, los organismos operadores de las plantas de tratamiento requieren estímulos fiscales e incrementar los presupuestos para la investigación en materia de acuíferos.
- Se presentan distintas líneas de investigación: modelación de flujo y transporte; toxicología y el desarrollo de la biota en las aguas subterráneas de las cuales hay poco conocimiento; la recarga natural, así como las metodologías y nuevas tecnologías para la estimación de esta recarga; mapeos regionales para identificar la potencialidad de proyectos de recarga; el tema de las escalas para profundizar en el conocimiento de los acuíferos; la colmatación, y los problemas de calidad. Desde la academia hay que ampliar la oferta académica sobre el agua subterránea.

# Interacción de aguas continentales y oceánicas



► De izquierda a derecha: El Dr. David Alberto Salas de León, el M. en C. Salomón Díaz Mondragón, la Mtra. Mireya Imaz Gispert, y Eduardo Negrete Cue.

En la mesa moderada por la Mtra. Mireya Imaz Gispert, coordinadora del grupo de análisis “Sustentabilidad”, se dieron cita el Dr. David Alberto Salas de León, investigador del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, el M. en C. Salomón Díaz Mondragón, director de ordenamiento ecológico de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Eduardo Negrete Cue, director de Ríos Limpios A.C.

El agua del planeta interactúa de manera permanente a través del ciclo hidrológico. El océano contiene el 97 % de toda el agua en la Tierra, mientras que las aguas continentales, tanto superficiales como subterráneas, y los glaciares, constituyen aproximadamente el 2.8 % del total de la hidrósfera.

La evaporación y la precipitación, generadas por aguas oceánicas, son la fuente primaria del vapor de agua en la atmósfera. La precipitación es la fuente de agua dulce más importante que ingresa al océano y la evaporación contribuye a su eliminación, generando un balance. Estos procesos contribuyen al proceso de regulación térmica del planeta.

Tradicionalmente, las aguas oceánicas y continentales han sido estudiadas de manera independiente, sin considerar las complejas interacciones entre los flujos de agua, sedimentos, contaminantes, materiales y organismos vivos que son transportados entre los suelos, ríos, costas y océanos. Preocupados por comprender los efectos de

estos procesos, se ha dado origen a un nuevo paradigma conocido como “*from source to sea*” o “de la fuente al océano”.

Los desequilibrios en el ciclo del agua dulce se manifiestan en los cambios en el nivel de los mares, causados en gran medida por una combinación con el aumento de la temperatura oceánica.

La descarga de los flujos continentales también conlleva una elevada cantidad de sedimentos sólidos y nutrientes que alteran las características oceánicas. Los desequilibrios en la concentración de nutrientes causan perturbaciones en el funcionamiento de los ecosistemas marinos, que se manifiestan a través de efectos negativos en los hábitats, redes alimentarias y la biodiversidad. Un ejemplo visible es el exceso de reproducción de algas por el aumento de nutrientes que, a su vez, liberan  $\text{CO}_2$  de la materia orgánica en descomposición, derivada de la eutrofización, y generan un desbalance significativo en el pH de las aguas oceánicas.

Contemplando este panorama, la mesa “Interacción de aguas continentales y oceánicas” tiene por objetivo analizar las causas y consecuencias de las alteraciones en la relación entre estos dos elementos.

## Oportunidades en el estudio de las aguas continentales y oceánicas

**Dr. David Alberto Salas de León**

Para estudiar de manera conjunta las aguas continentales y las aguas oceánicas se requiere una aproximación de





► Dr. David Alberto Salas de León, investigador del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

tipo sistémico, porque una influye en la otra y viceversa. No es posible estudiar cada uno de los sistemas de forma aislada, sino de forma conjunta.

Existen algunos casos muy interesantes. Un ejemplo es el sargazo que está llegando al Caribe, como resultado de un forzamiento que viene de los efectos producidos cerca de la zona de la corriente norecuatorial, a partir del transporte de nutrientes de la deforestación de árboles, así como del aporte de sedimentos que están propiciando la explotación de este tipo de organismos.

Tenemos también, a través de los ríos, el aporte de coliformes, dos casos muy significativos en México: Veracruz y Acapulco. La gran mayoría de las aguas de las ciudades llegan con muy poco tratamiento o sin tratamiento; en el caso de Veracruz, la llegada de los troncos a las zonas arrecifales por el lado del río La Antigua, resultado de la deforestación en las partes altas, destruyen toda la corona arrecifal y se modifica la línea de costa por la construcción de las presas.

Es sumamente importante la construcción de presas para proveer de agua a la población, pero también son trampas de sedimentos, por lo cual tiene que haber un balance entre estos dos sistemas.

El nivel del mar está creciendo, lo que conlleva a modificaciones en la línea de costa. Hay un caso muy interesante en villa y puerto Sánchez Magallanes; es uno de los sistemas más dinámicos en el mundo, pero se está erosionando por el aumento en el nivel del mar, ya que es un fenómeno que está presionando y salinizando los mantos acuíferos cerca de la costa.

### M en C. Salomón Díaz Mondragón

Durante el foro *Panorama y Perspectivas del Agua en México 2019-2024*, en el Senado de la República, de la Comisión

del Medio Ambiente, el tema central fueron los océanos. En especial, la cuestión de los plásticos ha sido recurrente. En la UNAM, a través del Seminario Universitario de Sociedad, Medio Ambiente e Instituciones (SUSMAI), se editó un libro titulado *Crisis Ambiental en México: ruta para el cambio*, en el que se presenta un capítulo especialmente sobre las oportunidades para el desarrollo sostenible de los mares y costas.

Desde la academia, el Gobierno y organizaciones de la sociedad civil, se requiere diseñar proyectos sobre los océanos, los mares y las costas. Necesitamos entenderlos a profundidad, desde una perspectiva ecosistémica, ya que representan una interfaz entre aguas continentales y marinas.

La complejidad de estos ecosistemas es enorme. Al reconocer la dependencia entre la salud de los océanos y de la litósfera, se abren nuevas áreas de oportunidad en las actividades productivas, respecto al cambio climático, la absorción del calor y del CO<sub>2</sub>, la producción de oxígeno, la producción de alimentos y otros fenómenos interdependientes.

Por esa razón, es indispensable elaborar políticas públicas más efectivas, a través de estrategias que permitan vincular la información y el conocimiento de la academia. El trabajo conjunto es indispensable para garantizar la preservación y evitar la destrucción de los ecosistemas.

### Eduardo Negrete Cue

El agua continental y el agua oceánica constituyen un mismo sistema porque forman parte de un mismo proceso. El agua es una molécula que se encuentra el 98 % del tiempo en el mar y un 2 % fuera de este. El problema de tener una visión fragmentada de las aguas oceánicas y continentales, es que hay una gran preocupación por la contaminación del mar, pero el 80 % de los contaminantes fluyen desde las grandes ciudades.

Los ríos son la vía de transporte de la contaminación; durante su trayecto algunos contaminantes se oxidan o se sedimentan. Sin embargo, la degradación de los ríos ha disminuido su capacidad para funcionar como plantas de tratamiento naturales, es decir, de limpiar y filtrar el agua. Se está enviando el agua casi de forma directa al mar, tal como sale del drenaje, de la industria o de los comercios, y esto repercute en la naturaleza.

La vida en la tierra depende del mar. Más del 50 % del oxígeno se produce en el mar, entonces ¿qué pasaría si lo llegamos a contaminar más allá de su capacidad de regeneración? Así como el río Blanco o el río Lerma, que están contaminados en gran parte de su cauce y, aunque con el tiempo y con buen tratamiento se pudieran recuperar, se puede llegar a esos niveles de contaminación en las costas y en el mar.



► Eduardo Negrete Cue, director de Ríos Limpios A.C.

Hay zonas en el Golfo de México, llamadas zonas muertas, porque están faltas de oxígeno. En la parte baja de Estados Unidos, toda la región de Texas y otras en donde predomina la explotación petrolera y de gas, se han nutrido de contaminantes; la vida prácticamente se retiró de ahí, es imposible para un ser vivo permanecer en este tipo de cuencas.

Otro caso conocido es la extinción de la vaquita marina, que bien podría ser el estandarte de esta conversación. Esta especie tuvo que migrar de su zona de alimentación y reproducción por los efectos colaterales de la presa Hoover, en Estados Unidos, para garantizar el agua a Los Ángeles, California y Arizona. Por esa razón se está limitando la cantidad de agua dulce que se regresa al mar, a través de un río muy caudaloso que le daba muchos nutrientes al Golfo de California y al Mar de Cortés.

Entonces, los contaminantes generados en la Ciudad de México llegan a una coladera mediante las precipitaciones y en unas semanas están flotando en el mar. El estudio y entendimiento del agua de mar con el agua dulce debe estar integrado, porque al final forman parte del mismo proceso.

## Factores antropogénicos en la interacción entre las aguas oceánicas y continentales

M en C. Salomón Díaz Mondragón

Las zonas muertas son porciones del océano con una baja concentración de oxígeno, lo cual impide el mantenimiento de la vida en esas regiones. Anteriormente en el Golfo de México solo se reconocía la zona muerta de la desembocadura del Misisipi, por ser una salida de una gran cuenca en la que confluyen los residuos de las actividades agrícolas, industriales, pecuarias y urbanas.

Hace pocos años se reconoció en el mapa mundial de zonas muertas la desembocadura del Grijalva-Usumacinta, a causa de las actividades antropogénicas desarrolladas en esa área: los contaminantes, la erosión, los agroquímicos, incluso patógenos que fluyen hacia el mar.

Las presas interrumpen los flujos, no solo en cantidad sino en calidad, porque no solamente es que llegue agua, sino que llegue con los nutrientes y con los elementos necesarios para permitir la vida en los ríos.

Los arrecifes de Veracruz, por ejemplo, están protegidos por un área natural, pero se ha visto que esta medida es insuficiente porque la desembocadura de los ríos del Jamapa lleva contaminantes de las actividades urbanas, turísticas, forestales y agrícolas. Otro ejemplo se da en la cuenca del río Bravo, que viene desde Chihuahua y desemboca en el Golfo de México.

Entonces, los factores antropogénicos que influyen en las aguas continentales y oceánicas dependen de las actividades productivas que se realizan en las cuencas. En el caso de México, un país de cuencas costeras, prácticamente todas son exorreicas y la que era endorreica, la del centro, ya es exorreica porque se manda el agua al río Panuco, a través de las tuberías. Todos los nutrientes y contaminantes que desembocan en el mar provocan fenómenos como la acidificación, eutrofización, el sargazo, especies invasoras y otros.

Un ejemplo más es el caso de la muerte masiva de manatí, en el Golfo de México y en los pantanos de Centla, que es la parte baja de la cuenca del Grijalva-Usumacinta. Uno de los factores principales que incide en esta situación es la contaminación de este ecosistema por la cantidad de industrias y agroquímicos, en especial la industria del cultivo de palma para producir aceite. Una visión sistémica permitiría entender la correlación entre el manatí en Tabasco, en pantanos de Centla, con la producción de palmas en Chiapas.

Otro caso es el daño ambiental causado por una empresa en el río Bacanuchi, en dos ocasiones, y sus repercusiones



► Mtra. Mireya Ímaz Gispert, moderadora de la mesa.

en el Golfo de California. La primera vez, hace casi seis años, se formó un fideicomiso con recursos de la empresa para la restauración de los daños; en esta segunda ocasión, se revocaron los permisos para esta empresa por reincidencia. Debe quedar claro que el que contamina paga, la empresa fue obligada a formar ese fondo para la restauración del río y la remoción de contaminantes, porque además las pérdidas se transfirieron a otros sectores como la agricultura. No obstante, lo ideal es prevenir esta clase de impactos, más que remediarlos.

### **Dr. David Alberto Salas de León**

Los residuos agrícolas y ganaderos van a los ríos y posteriormente al mar. En la zona del Grijalva-Usumacinta hay una serie de industrias que desechan sus residuos a los ríos, la mayoría de ellos sin tratamiento, y estos llegan al mar. Sucede una situación similar con el lavado de las tierras por las lluvias que arrastran fertilizantes, insecticidas y otros químicos, lo cual deviene en una acumulación de material orgánico que finalmente se descompone y consume el oxígeno, generando las zonas muertas.

A pesar de los daños ya mencionados, es posible frenar el impacto de los factores antropogénicos como los desechos urbanos, agrícolas, ganaderos y otros. En el Valle de México tenemos una población cercana a los 20 millones de habitantes; todos los desechos producidos en esta ciudad llegan eventualmente al mar, es una cantidad de materia orgánica enorme. Esto impacta a las regiones costeras y, sin duda, afecta la relación entre el agua continental y oceánica.

A estas condiciones habrá que añadir el calentamiento global. Si bien hay un calentamiento natural de la Tierra, se están generando gases de efecto invernadero que producen un aumento de la temperatura. Este es un fenómeno global que causa el descongelamiento de los polos, el aumento de nivel del mar, aguas más ligeras en zonas clave en el océano, que hacen o evitan que el agua que circula en los océanos sigan los caminos normales.

Múltiples factores antropogénicos están afectando la relación entre las aguas continentales y las oceánicas. Muchos de los organismos de interés económico, que se encuentran en el mar, dependen de las zonas costeras, en las cuales debe existir una sensible dilución del agua de mar, zonas estuarinas; dentro de estos organismos están los camarones, algunos peces, crustáceos, ostiones y cangrejos. Si continúan los cambios en las condiciones del agua dulce que llega a los océanos, esto influirá en los ambientes en los que se desarrollan las especies. Finalmente, afectarán a las pesquerías, que son de importancia alimenticia y económica para el país.

### **Eduardo Negrete Cue**

Hemos desarrollado una forma de vivir, de actuar y de consumir en la que no nos asumimos como parte del sistema Tierra. Pensamos en la biósfera como un medio de extracción, cuando tendríamos que entenderla como nuestra casa. Si bien es un elemento fundamental de nuestro sustento económico, por muchos años se ha orientado nuestra relación con la biósfera desde la ideología del crecimiento y el consumo.

Múltiples contaminantes llegan a los cuerpos de agua, principalmente se habla del plástico, el cual es un residuo brutal porque es un material propiamente indestructible y de un solo uso; como sociedad llevamos unos 40 años utilizando el plástico. El asunto de las islas de plástico que se presentan en cada corriente oceánica es monstruoso, porque expresa el desinterés y la falta de gestión de los residuos. Cuando hacemos brigadas de limpieza en lagos, se junta mucha basura y se hace una corriente natural, un pequeño remolino, donde flotan troncos o plásticos que de no ser removidos llegan al mar.

En México deberían controlarse mejor las descargas residuales de diversos usuarios, por ejemplo, del sector hotelero en la costa de la Riviera Maya o en la zona de vivienda en Xochimilco, donde hay descargas directas al lago. Las instancias responsables, como la SEMARNAT o la PROFEPA, cada vez tienen menos recursos para realizar inspecciones efectivas y supervisar que se cumplan los protocolos expresos en las normas oficiales mexicanas.

En ese sentido, nuestras acciones afectan a este ecosistema llamado Tierra, así como a cada uno de los diferentes sistemas que lo conforman: el mar, los ríos, las cuencas, los humedales y demás. Si sobrecargamos la capacidad de los ecosistemas para regenerarse, contribuimos a la contaminación de los océanos y afectamos a cada uno de los seres que habitan en ellos.

## **Principales retos de investigación y de política pública para la comprensión de las interacciones entre aguas continentales y oceánicas**

### **Eduardo Negrete Cue**

El principal reto es trabajar en conjunto: el Gobierno, la academia y la sociedad civil. Todos somos responsables, aunque cada uno tiene responsabilidades específicas.

**Dr. David Alberto Salas de León**

En el Gobierno debe trabajarse sobre la legislación. En México estamos atravesando una crisis de agua porque la Ley Nacional de Aguas es obsoleta. Todas las normas oficiales mexicanas sobre el tratamiento o retorno del agua a los cuerpos de agua son obsoletas. Se tiene que transitar hacia una Ley Nacional de Aguas nueva y más rigurosa, con la experiencia obtenida sobre la legislación actual. Esta nueva ley debe integrar los temas de los territorios insulares y del agua subterránea, los cuales no están contemplados en la legislación vigente.

En torno a los materiales de un solo uso, como el plástico, y también de sustitutos como bioplástico (que supuestamente es biodegradable en ciertas condiciones de calor y de composta industrial), habría que cambiar el enfoque hacia una economía circular.

Respecto a este último punto, tanto la iniciativa privada y la sociedad deben implementar este nuevo modelo económico, el cual tendrá que reflejarse en los marcos legales. Las empresas pueden innovar desde la economía circular al repensar y rediseñar sus empaques y formas de producción. También desde las universidades debe buscarse el emprendimiento social y ambiental, a partir de tecnologías, biotecnologías, energías verdes y otras que ayuden a transitar hacia un nuevo escenario.

Todos podemos promover distintas iniciativas para generar un cambio verdadero. Desde nuestra trinchera, hemos implementado trampas de sólidos para la limpieza de ríos con costales de mandarinas o de papas, los rellenamos de pet que sacamos del río o de la playa y los atravesamos en el cauce del río, todo lo que viene flotando se acumula en una zona; es una medida muy sencilla. Esta es la primera generación que se dio cuenta de que puede cambiar al mundo, porque la crisis no significa que se acabará el planeta, sino que tendrá repercusiones en la vida de los seres humanos.

Los principales retos de investigación son múltiples. El Instituto de Ingeniería y la Facultad de Ingeniería de la UNAM tienen un potencial enorme para generar infraestructura y nueva tecnología, pero falta integrar a todas las áreas del conocimiento.

Hasta principios de los noventa México era prácticamente una potencia mundial en el estudio de las zonas costeras, los llamados estuarios; se contaba con dos buques de investigación que han soportado toda la exploración oceanográfica, se estudió el mar en sus zonas profundas. Con la explotación del petróleo y accidentes como el de British Petroleum, se empezaron a visibilizar los riesgos de no contar con las medidas necesarias para el cuidado de las aguas oceánicas.

México tiene más del doble en su territorio oceánico que en la parte continental, no obstante conocemos muy poco de los océanos y sus recursos. De la zona costera depende una gran cantidad de familias, de población y de industria. El estrés hídrico es muy fuerte en estas regiones. El reto científico y académico es enorme, por lo que en las universidades debe generarse capital humano que pueda intervenir en estas zonas.

Tenemos que desarrollar tecnología. En la UNAM se han creado estaciones meteorológicas, huellas oceanográficas, sensores y otras herramientas para implementarse en áreas estratégicas como desembocaduras de ríos, lagunas costeras y zona oceánica. Hasta hace apenas unos pocos años se inició un monitoreo con instrumentación de punta.

Entonces, la formación de recursos humanos debe estar vinculada con la mejor tecnología, para ser competitivos en el ámbito internacional, y con el objetivo de resolver problemas nacionales específicos. La UNAM tiene la obligación de enfocarse a problemas nacionales y plantear soluciones que puedan ser integradas a soluciones regionales de forma práctica; tales medidas deben incidir en el desarrollo social.

Se han planteado algunas estrategias equivocadas. La primera de ellas ha sido pensar que el océano es el basurero mundial; como consecuencia tenemos una isla gigantesca de basura en el Océano Pacífico. En ese sentido, el desarrollo científico no puede hacerse en abstracto, es indispensable el trabajo conjunto entre la academia, el Gobierno, las empresas y la sociedad; cada uno de ellos debe tomar su papel. La sociedad tiene que apropiarse de los problemas que acontecen en su región y ser parte del desarrollo científico, económico y social. De forma conjunta pueden lograrse políticas que verdaderamente contribuyan a solucionar esos problemas.



► Dr. David Alberto Salas de León, y el M. en C. Salomón Díaz Mondragón.



## M en C. Salomón Díaz Mondragón

Hay dos retos claramente interrelacionados: la investigación y la política. El primero refiere al conocimiento; si bien hay investigación sobre los problemas de las aguas continentales y oceánicas, muchos de estos trabajos son puntuales en algunos sitios o en alguna parte del proceso, pero se requiere una forma de investigación mucho más integral.

Desde la SEMARNAT se ha fomentado la creación de un conocimiento integral y complejo; es una iniciativa mundial que se llama Índice de Salud de Océanos (Ocean Health Index), promovida por la ONG Conservación Internacional, y soportada por un grupo de investigación de la Universidad de California en Santa Bárbara. En este índice se agrupa la salud del océano, a partir de diez diferentes componentes y dimensiones. Esta herramienta permite identificar los factores y tendencias antropogénicas que generan una presión al sistema. Como resultado es posible analizar cómo están los océanos en términos de aguas limpias, biodiversidad, protección costera, almacenamiento del carbono y los bienes y servicios que proveen a la sociedad. A partir de ese análisis se puede predecir el estado futuro de cada zona y establecer las estrategias pertinentes en los focos rojos, antes de alcanzar un punto de no retorno en esos ecosistemas. Es la iniciativa mundial más integral de salud de océanos.

Hay otras propuestas, como la de National Oceanic and Atmospheric Administration, en Estados Unidos, que implementan las *report cards* o estados de salud. En estas iniciativas se observa la complejidad del análisis que requiere el espacio marino; hay una oportunidad para la universidad y la academia de abordar una multiplicidad de temas.

En la SEMARNAT se cuenta con sistemas de información como el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) y el Sistema Nacional de Información Ambiental y Recursos Naturales (SNIARN); pero aún falta desarrollar herramientas para monitorear la salud de los océanos. En cuestiones forestales, se mide la cobertura forestal para saber el grado de deforestación de una región; con esa información es posible determinar cuáles son las estrategias pertinentes para la restauración de los bosques. Sin embargo, para las aguas oceánicas aún no se logra una herramienta integral.

El segundo reto es el tema de las políticas públicas y la gobernanza. El concepto de gobernanza es entendido en la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO como un marco legislativo en el que se establecen las atribuciones de cada dependencia para realizar estrategias integrales. Hay una propuesta en la Comisión de Medio Ambiente del Senado de la República para integrar las regulaciones de los mares y costas, las cuales se encuentran dispersas en la Ley de Aguas Nacionales, en la Ley de Bienes

Nacionales, en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). Como parte de la estructura de gobernanza hay espacios de discusión como la Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas (CIMARES), una Comisión Nacional Coordinadora de Investigación Oceanográfica (CONACIO), ambas presididas por la Secretaría de Marina (SEMAR).


A este esquema faltaría integrar a la sociedad civil organizada y a la academia para trabajar en la operación de la política nacional de mares y costas, publicada desde el año 2017. Es necesario retomar, revisar y actualizar los instrumentos de participación para garantizar la salud de las aguas oceánicas. Si bien hay muchos instrumentos para mares y costas, como las normas oficiales mexicanas, es indispensable escuchar todas las voces para generar soluciones integrales. Por ejemplo, la norma de desalinización fue un tema de discusión; para lograr un consenso se contó con la participación de un cuerpo colegiado y de la academia, quienes definieron los lineamientos (distancia, valores de gr/l), y plantearon las soluciones tecnológicas; bajo ese esquema ya se están construyendo desaladoras. No obstante, es necesario revisar la viabilidad de esa norma cada cierto tiempo, aproximadamente cada cinco años.

## Conclusiones

- La interacción entre el agua continental y oceánica debe comprenderse entre sus diferentes estados (gas, líquido y sólido) para lograr un análisis holístico del sistema. Un objetivo para garantizar la seguridad hídrica en México es sostener y restaurar la conectividad de las aguas continentales y oceánicas para mantener los servicios ecosistémicos proporcionados por los ecosistemas acuáticos. La seguridad hídrica es fundamental porque dependemos como especie del agua limpia. La contaminación de los cuerpos de agua debería ser considerada como una emergencia ambiental, por lo que habría que destinar más recursos y esfuerzos para su recuperación.



► Mesa "Interacción de aguas continentales y oceánicas".

- El calentamiento global repercute en la forma en la que se distribuyen las corrientes marinas, así como en el movimiento de nutrientes y de las masas de agua caliente hacia el polo norte, regulando las temperaturas del planeta. Los primeros afectados de ese cambio de temperaturas en el océano son los seres vivos que habitan en él, y posteriormente, impactará a escala planetaria.
- En México se cuenta con un sistema normativo sobre las aguas oceánicas y continentales, pero este se encuentra desarticulado, por lo cual se requiere un sistema de gobernanza que contemple la participación de la sociedad civil, la academia, las empresas y el Estado, para garantizar la salud de los cuerpos de agua. 



# **Ceremonia de Premiación a la Mejor Tesis en Recursos Hídricos**

---



► Ganadoras del Premio: Karina Bautista Tovar, Juana Martínez Macedo, Jenny Jocabeth Ibañez Cruz, y María Geeorgina Sánchez Celaya; acompañadas de Dionisio Meade (Fundación UNAM) y Fernando J. González Villarreal (Red del Agua UNAM).

### Palabras del Dr. Fernando J. González Villarreal, director de la Red del Agua UNAM.

El motivo que nos reúne el día de hoy es la entrega de reconocimientos del premio a la mejor tesis relativa a los recursos hídricos, de nivel licenciatura y maestría. Tras la realización de cinco mesas de análisis, tres conferencias magistrales y cuatro talleres, llegamos a esta sesión para hacer un reconocimiento a dos ganadoras y dos menciones honoríficas, de cada uno de los niveles. Agradecemos la participación de la Fundación UNAM, y en especial de su presidente Dionisio Meade y García de León.

Hace dos años, junto con el Mtro. Jorge Arriaga, coordinador ejecutivo de la Red del Agua, realizamos una investigación para determinar las variables que influyen en el desarrollo de las sociedades en el marco de la era del conocimiento y la innovación. La diferencia entre los países más y mejor de-

sarrollados con respecto a otros, es su capacidad para producir conocimiento e innovaciones aplicables al bienestar de sus sociedades. Para lograrlo, se requiere de la vinculación entre la academia, el Gobierno y la iniciativa privada. El agua es un factor fundamental para el desarrollo en nuestro país.

Este premio busca estimular la innovación entre las y los jóvenes universitarios, y destacar sus aportaciones para la comprensión de los temas relacionados con el agua. Tal reconocimiento es resultado de la venta del libro *Aguas turbulentas*, en el cual se encuentran mis memorias de actuación en el sector hídrico nacional. Se sometieron distintos trabajos a un proceso de selección, revisión de jurado y, finalmente, tenemos a las cuatro más destacadas participantes del proceso, quienes buscan contribuir al conocimiento del agua en nuestro país. Muchas gracias por su participación en este evento.

### Palabras del Dr. Dionisio Meade y García de León, presidente de Fundación UNAM.

Uno de los propósitos de Fundación UNAM es dar cumplimiento y acompañamiento a los objetivos de la propia Universidad: docencia, investigación científica y difusión de la cultura. Uno de los más complicados es la generación de espacios de científica, porque implica una amplia especialidad de los temas abordados en las distintas áreas de investigación de la Universidad. En este sentido, hemos buscado fortalecer las alianzas con actores estratégicos para reconocer los esfuerzos de los estudiantes que tienen un interés por asuntos de suma prioridad para la sociedad.

Para este concurso se presentaron 25 trabajos; el monto de los premios es de 35 mil pesos, pero más allá de esta retribución monetaria queremos reconocer el inicio de la trayectoria de investigación de los y las participantes. Los trabajos fueron evaluados por un amplio jurado, conformado por especialistas de diversas instituciones: El Colegio de Geografía, CONAGUA, COUS, Instituto de Ingeniería, Instituto de Investigaciones Jurídicas, IMTA, SACMEX y el Tecnológico de Monterrey. Este reconocimiento les permitirá en un futuro demostrar su esfuerzo, capacidad y trabajo, en el cual resalta una visión transdisciplinaria. Hago extensivo este reconocimiento a las familias de las ganadoras, ya que aportaron las condiciones para poder materializar su formación universitaria.

Reconocemos el compromiso de la Universidad con la sociedad, ya que gracias a ella se obtienen los recursos suficientes para garantizar la educación de miles de mexicanos. También



habría que destacar el papel de las mujeres en la investigación científica; cerca del 60 % de las becas que otorgamos se destinan a mujeres y, con ello, se contribuye a la reducción de la brecha de género y a cambiar historias de vida. Esperamos que este premio ayude a mejorar el destino profesional, personal y familiar de las ganadoras.

Reconozco la trayectoria del Dr. Fernando González Villarreal, quien se ha dedicado su vida entera a reflexionar y resolver problemas en torno al agua. Los recursos hídricos son un pilar para la seguridad nacional, interrelacionado con problemas de amplia magnitud como el cambio climático y la crisis ambiental. En una plática con el Dr. Mario Molina, se presentaron datos alarmantes sobre el escepticismo de las personas sobre el cambio climático, aun cuando existe la evidencia científica que valida su existencia. Más de la mitad del territorio nacional está sufriendo una sequía y nos enfrentamos a escenarios de escasez de agua. Tenemos que establecer medidas para proteger este recurso, sin el cual la vida como la conocemos no sería posible.

Desde cada una de las disciplinas que representan las ganadoras del premio, es indispensable recalcar que la formación universitaria debe ser transversal y profunda para contribuir a la formación de profesionistas capaces de dar respuesta a los problemas nacionales, bajo las circunstancias políticas, económicas y sociales que prevalecen en el país. Muchas gracias, Fernando, por el esfuerzo y empeño en ayudar a los jóvenes universitarios a contribuir en el conocimiento necesario para el desarrollo del país.

**Palabras de M. en C. Juana Martínez Macedo, ganadora de la segunda edición del premio “Fernando J. González Villarreal” a la mejor tesis en recursos hídricos.**

Muchas gracias por la creación del premio y, en especial, por el reconocimiento de los problemas en torno a los recursos hídricos en el país. Este reconocimiento es la prueba de que hay jóvenes preocupados por este tema; el día de hoy somos cuatro mujeres ganadoras. No habíamos tenido un papel muy destacado en los temas de investigación del agua desde la parte hidráulica, hídrica y otros campos de conocimiento; anteriormente el sector hídrico se caracterizaba por ser típicamente masculino. Mi trabajo es resultado de una formación transdisciplinaria, soy ingeniera química, con maestría en Ciencias de la Sostenibilidad; este posgrado ha tratado de responder a los complejos problemas socio-ambientales a los que se enfrenta nuestro país, en un contexto de cambio climático. Desde una visión transversal se busca que las y los jóvenes nos profesionalicemos con el apoyo de



► Lic. Jenny Jocabeth Ibañez Cruz, de la Facultad de Economía.



► Lic. Jenny Jocabeth Ibañez Cruz, de la Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia.



► Mtra. María Georgina Sánchez Celaya, del Posgrado en Historia del Arte.



► M. en C. Juana Martínez Macedo, del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad.

expertos en distintas disciplinas para proponer soluciones innovadoras y transformadoras. Agradezco al Dr. Fernando González y a Fundación UNAM por este reconocimiento.

## Factores socioeconómicos y ambientales relacionados con el tratamiento de agua residual a través de la implementación de humedales artificiales acoplados a un sistema de lodos activados

**Mtra. Juana Martínez Macedo**

La investigación se realizó en el programa de maestría del posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, el cual es una propuesta para abordar los problemas complejos socio-ambientales a los que nos enfrentamos actualmente, desde una perspectiva inter y transdisciplinaria.

Debido al posgrado en el cual se inscribe este trabajo de investigación, se buscó abordar un problema común en el país: el deficiente o nulo funcionamiento de aproximadamente el 60 % de las plantas de tratamiento de agua, desde una postura interdisciplinaria y en un marco de desarrollo sostenible alineado con la agenda 2030. Se eligió la cuenca Valle de Bravo-Amanalco, debido a su importancia en el abastecimiento de agua a la zona metropolitana de la Ciudad de México y Toluca.

El objetivo principal de la investigación fue identificar los factores socioeconómicos, ambientales e institucionales que podrían influir en la implementación de humedales artificiales (HA) como apoyo a la planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados (PLA), ya instalada en la cabecera municipal de Amanalco de Becerra (Estado de México), y, con base en ello, elaborar una propuesta que contribuyera al mejoramiento de la calidad del río Amanalco (principal aporte a la presa Valle de Bravo). Como objetivos específicos se buscó lo siguiente:

- Analizar las causas de la eutrofización de los cuerpos de agua y las posibles razones por las cuales la PLA no disminuye la contaminación.
- Evaluar la viabilidad de la implementación de humedales artificiales, teniendo en cuenta los diversos actores sociales, la percepción de los problemas y las alternativas de solución que se visualizan, así como su disposición a participar en ellas.
- Evaluar el desempeño económico y ambiental de la combinación de HA con una PLA (considerando los ser-

vicios ambientales que proveen los HA y el tratamiento del agua).

Debido a la naturaleza del posgrado, la metodología utilizada fue un conjunto de herramientas cualitativas y cuantitativas que, en conjunto, permitieran lograr los objetivos descritos. Dentro de las herramientas metodológicas cualitativas se realizaron entrevistas a profundidad a los actores clave de diversas instituciones, así como a usuarios del agua (ejidatarios, productores agropecuarios, jefes de familia); entre los actores institucionales se entrevistó al secretario técnico del Ayuntamiento de Amanalco, un delegado y un presidente de comité de agua (forma informal de organización reconocida por la Constitución mexicana) de localidades de ese municipio, representantes de asociaciones civiles, un operador de la planta de tratamiento, funcionarios de CONAGUA y del Organismo de Cuenca de Valle de Bravo. Con dichas entrevistas se construyó una visión de la cuenca, con base en el marco teórico de administración y transición, propuesto por Pahl-Wostl et al. (2010) y Ostrom, (2005).

Respecto a las herramientas cuantitativas utilizadas, se realizó un análisis de datos de calidad del agua del río y de la presa, tomados por CONAGUA, los cuales posteriormente fueron utilizados para crear un indicador de valoración de las tecnologías de tratamiento (PLA y HA), en un análisis costo-beneficio (ACB), en el que se consideraron los servicios ambientales provistos por los HA y los costos de operación y construcción de cada tecnología, y se evaluaron los beneficios del tratamiento del agua en función de la variable que es posible medir directamente, ya que se trata de actividades turísticas en la presa Valle de Bravo.

Adicionalmente, para realizar la evaluación ACB, se consideró la capacidad de depuración de nutrientes de las tecnologías, debido a que son el principal factor controlable para disminuir la eutrofización de la presa; para ello se construyó un indicador con base en el valor de los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua (CECCA) de 0.1 mg/L para fosfatos (medidos como fósforo total), para control de la eutrofización en ríos. Dicho análisis se realizó en tres escenarios: HA, PLA y la combinación HA-PLA.

Entre los hallazgos técnicos principales se encontró un vacío legal para control de la eutrofización, ya que la NOM-001-SEMARNAT-1996 abroga los CECCA, pero esta no regula los valores máximos de contaminantes para el control de la eutrofización, ni especifica los criterios ecológicos señalados en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Como resultado se obtuvo que el escenario HA-PLA es el que presenta mejores valores de rentabilidad financiera; sin embargo, ningún escenario es viable si no se conside-



► Durante la presentación de la M. en C. Juana Martínez Macedo.

ra como beneficio los servicios ambientales que provee el tratamiento del agua, los cuales fueron medidos, como la derrama económica proveniente del turismo, al conservar con buena calidad los cuerpos de agua de la cuenca. Se requiere incluir el costo de no conservación de los recursos o de no revertir el deterioro como un elemento de pérdida de rentabilidad y competitividad, lo cual ante un escenario de cambio climático se vuelve vital.

Lo anterior permite concluir que la cuenca Valle de Bravo-Amanalco es sólo el reflejo de una parte de la “gobernanza” sobre los recursos hídricos en el país, ya que en pocas cuencas se considera la estrecha relación entre el sistema ambiental y el social, lo que ha devenido en que las acciones implementadas por los tomadores de decisiones no reviertan la situación de deterioro de los recursos naturales.

En particular, en la cuenca el tratamiento del agua es sólo un punto que debe atenderse; se requiere modificar la agricultura actual (extensiva), mejorar los medios de producción de la industria acuícola, generar un plan de monitoreo de cumplimiento de los diversos actores que descargan al río y a la presa, así como mantener un plan de monitoreo de los cuerpos de agua de la cuenca, que permita la toma de decisiones informada, y que dote de herramientas a los actores involucrados para emprender acciones, desde la CAEM, CO-NAGUA, los organismos de cuenca, las asociaciones civiles y los habitantes de la cuenca.

Las principales contribuciones son comprobar que es indispensable la sensibilización social y ambiental de los encargados para efectuar la construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento y saneamiento de agua, para brindarles herramientas que les permitan estar informados de la situación integral del entorno en el que desempeñarán sus trabajos, de manera que tengan la capacidad de tomar decisiones que permitan la mejora de la gestión de los recursos hídricos.

Asimismo, para realizar la selección de tecnologías de tratamiento de agua, es indispensable hacer una evaluación mucho más completa que sólo los costos de inversión; es de suma importancia considerar los costos de operación a largo plazo para efectuar un análisis financiero o, en su caso, costo-beneficio social, que dote a los municipios y tomadores de decisiones de mejores herramientas para seleccionar la tecnología que opere óptimamente, teniendo en cuenta el costo de perder o de deterioro de los recursos.

## La huella hídrica de la economía mexicana en 2008: un análisis de los patrones de consumo

Lic. Jenny Jocabeth Ibañez Cruz

En las últimas décadas se ha visto una explosión en la literatura sobre los conceptos de huella hídrica y agua virtual, reflejando su importancia en el análisis de uso del agua en el mundo. Estos dos conceptos son importantes, pues ayudan a explicar la distribución del agua utilizada en el proceso de producción de los bienes y servicios que se consumen, y así reconocer que el consumo humano está ejerciendo una fuerte presión sobre las fuentes de agua dulce, provocando escasez y contaminación.

Por ello el objetivo de esta tesis es implementar el concepto de huella hídrica para analizar la cadena de suministro y el consumo de agua en México, utilizando la metodología de insumo-producto. En particular, se calculan algunos indicadores sectoriales de uso directo e indirecto de agua en la economía mexicana, para analizar el consumo de agua en las actividades económicas. De acuerdo con este análisis, la hipótesis de esta investigación es que, dados los patrones de consumo en México, la mayor porción de la huella hídrica de los bienes de consumo reside en las cadenas de suministro de los insumos y no en el mismo sector.

El modelo básico de análisis de insumo-producto consta de una matriz  $A$  que representa la matriz de coeficientes técnicos, el vector  $x$ , en el que cada entrada representa las ventas del producto década uno de los  $n$  sectores, y el vector  $y$  que indica la demanda final de los sectores. De esta forma, tenemos que:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y} = \mathbf{L} \mathbf{y} \quad (1)$$

Donde  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{L} = [l_{ij}]$  es conocida como la matriz inversa de Leontief de los requerimientos totales, que muestra de una manera más clara la dependencia de cada



uno de los productos brutos en el valor de cada demanda final (Miller y Blair, 2009).

Velázquez (2006) se basa en el modelo básico de Leontief y calcula los siguientes indicadores de agua para Andalucía: consumo directo de agua, consumo directo por unidad producida, consumo total, multiplicador de consumo de agua, e indicador de consumo indirecto. Además, Velázquez (2006) define una matriz **W** que indica la matriz intersectorial de flujos de agua, es decir, el agua virtual. Ahora, para calcular la huella hídrica, Lenzen y Foran (2001) también utilizan el análisis de insumo producto, en el que incluyen una matriz de multiplicadores de factor de dimensión  $f \times n$ , construida por  $f$  factores de producción (que pueden ser agua, trabajo, energía, recursos y contaminantes) por unidad de consumo final de los bienes producidos por los  $n$  sectores industriales:

$$M = F(I - A)^{-1} \quad (2)$$

De esta forma, para propósitos de este trabajo, el vector **F** será el consumo directo de agua total por unidad producida. Sin embargo, **M** es un vector que representa la huella hídrica de cada sector, pero lo que nos interesa saber es la huella hídrica intersectorial. Para eso, simplemente se forma una matriz diagonal, en la que la diagonal principal tiene los valores del vector  $w d^*$ , que renombraremos como  $v = \widehat{w d^*}$  de dimensión  $n \times n$ , llegando a:

$$B = V(I - A)^{-1} \quad (3)$$

No obstante, se está suponiendo que todos los sectores consumen una unidad de demanda final, por lo que debemos eliminar tal supuesto para poder analizar el patrón de consumo por cada sector, por lo que definimos a  $r_i = \frac{y_i}{\sum y_i}$  vector de demanda final ponderada, donde cada  $\sum_i r_i = 1$ . Formando la matriz diagonal R del vector  $r$  y multiplicándola por la matriz B, se tiene que:

$$H = BR \quad (4)$$

Donde  $\sum_i h_{ij} = \sum_i b_{ij} r_j$  representa la huella hídrica de la economía para satisfacer  $r_j$  unidades de demanda final del sector  $j$ . Cabe resaltar que las ecuaciones (3) y (4) son nuevos aportes de este trabajo.

Para calcular la huella hídrica en México, se utilizaron datos de CONAGUA (2014) sobre volúmenes de agua concesionados, registrados en el REPGA para el 2008 en hm<sup>3</sup>, además de las matrices simétricas domésticas de insumo producto en millones de pesos a precios básicos del mismo año industria por industria, por sector (19 sectores) y subsector (79 subsectores) de actividad, según el Sistema de Clasificación Industrial del América del Norte (SCIAN), publicados por INEGI.



► Lic. Jenny Jocabeth Ibañez Cruz.

De este cálculo se pudo notar que el sector 11 (agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza) es el que tiene una mayor cantidad de agua virtual incorporada a su producción, de la cual la mitad es para producir insumos de su mismo sector, y el 42 % para las industrias manufactureras. El subsector con mayor agua virtual en su producción es el de agricultura.

Las industrias manufactureras son las que más agua virtual utilizan para sus insumos, de la cual el 82 % proviene del sector 11. Destaca la industria alimentaria por su gran demanda de agua virtual, de la cual el 93 % proviene de la agricultura. La industria alimentaria requiere una gran cantidad de agua en insumos que provienen de los sectores agrícolas.

Al calcular la ecuación (4), que es la huella hídrica intersectorial ponderada, las industrias manufactureras son las que tienen la huella hídrica más alta, pero solo el 11 % proviene de su mismo sector, mientras que el 82 % es del sector agrícola. Cuando se desagregan los datos, la agricultura es el sector con la huella hídrica más alta de la economía, que proviene del mismo sector. El siguiente subsector con mayor huella hídrica es el de la industria alimentaria, del cual sólo el 3 % proviene de la misma industria y el 93 % de la agricultura.

Es interesante ver que las industrias manufactureras, en especial la alimentaria, tienen una huella hídrica muy alta, sin embargo, no se encuentra en su propio proceso de producción, sino en su cadena de suministro, comprobando así la hipótesis de este trabajo.

Dado lo anterior, se realizaron dos escenarios alternativos ante posibles cambios en el patrón de consumo de la economía mexicana. Se notó que cuando se suponen cambios del 30 % y 80 % hacia el sector agrícola, la huella hídrica total de la economía aumenta, porque los consumidores adquieren sus productos directamente de dicho sector, que es el que más agua utiliza de manera directa, aumentando la ponderación de su demanda final. Con esto es posible decir



que la huella hídrica no es estática, sino que es inherente a los cambios en el patrón de consumo.

A pesar de que este trabajo no propone políticas económicas al respecto, es importante mencionar la necesidad de repensar la política hídrica en México, tomando en cuenta al agua como un factor de la producción, para así hacer una asignación eficiente del agua en las actividades productivas como recurso escaso.

## Arte, problemáticas ambientales y estética de las mercancías. Overseas (En ultramar), un proyecto de Minerva Cuevas sobre el agua embotellada

Mtra. María Georgina Sánchez Celaya

El presente trabajo de investigación parte de un estudio sobre las problemáticas relacionadas con la explotación de los recursos hídricos y la forma en que el arte ha abordado e incorporado a sus prácticas dicha temática.

Como parte del Programa de Posgrado en Historia del Arte con especialidad en Estudios Curatoriales, impartido por la UNAM, -marco en el que se inserta este proyecto de titulación- se desarrolló también una exposición colectiva titulada *La ciudad está allá afuera*. Para dicha muestra, mi contribución consistió en la gestión de algunos proyectos multidisciplinarios de índole artística, científica y académica, que conformaron un eje temático sobre los principales problemas hídricos de la Ciudad de México, debido a la sobreexplotación, escasez y contaminación de las fuentes de agua que abastecen la urbe.

No obstante, para complementar mi línea de investigación durante la maestría y tener un panorama completo de los retos a los que se enfrenta la gestión del agua, no sólo en el ámbito local, sino también en el internacional, era necesario abordar otro problema poco estudiado: el deterioro ambiental resultado de la industria del agua embotellada y los cambios en la concepción del recurso hídrico producto de su mercantilización. Debido a la relevancia y trascendencia ambiental de este fenómeno de consumo de aparición reciente, era pertinente elaborar un trabajo de investigación dedicado exclusivamente a este tema. Tratándose de un programa en Historia del Arte, el objeto de estudio fue el cuerpo de obra de la artista mexicana Minerva Cuevas, quien a lo largo de su trayectoria artística ha puesto en evidencia las consecuencias ambientales, sociales, económicas y políticas de las prácticas corporativas en el marco del capitalismo global.



► Mtra. María Georgina Sánchez Celaya.

En particular, este ensayo presenta un análisis de la instalación *Overseas (En ultramar)*; una pieza presentada en la galería Shedhalle, de Zurich, Suiza, en el año 2006, en el marco de la exposición *TEU: 8 pies x 20 pies*. Se trata de una instalación que cuestiona las estrategias visuales que utiliza Nestlé para atraer a consumidores de todo el mundo y vender sus marcas de agua embotellada, así como las problemáticas sociales y ambientales que acarrea dicha industria.

Uno de los objetivos principales de este trabajo era demostrar como las prácticas de arte contemporáneo, surgidas en la década de los 90, significan un parteaguas en la historia del arte, ya que estas se volcaron hacia el proceso artístico y la investigación, poniendo en un papel secundario el desarrollo de los aspectos formales o estéticos de la obra, haciendo énfasis en el contenido, el concepto y la crítica. En este sentido, el arte contemporáneo se ha convertido en un medio para el análisis de la cultura visual, la cual es un aspecto fundamental que determina el comportamiento humano y social, así como nuestros hábitos de consumo, además de representar un medio para la denuncia.

De esta manera, el interés que han manifestado algunos artistas por las problemáticas ambientales es una fuente de conocimiento que aporta elementos para el debate y la discusión en términos sociales y culturales sobre este tema, aspectos que pocas veces son tomados en cuenta para la implementación y desarrollo de prácticas sustentables.

En cuanto a cuestiones metodológicas, el análisis de la instalación está realizado desde tres frentes: en primer lugar, considera el contexto artístico y cultural al que pertenece Cuevas, es decir, el arte contemporáneo mexicano de la década de los 90 y las prácticas neoconceptuales; en segundo lugar, desarrolla el contexto expositivo en el que fue presentada la instalación y, por último, retoma los conceptos de la crítica a la estética de las mercancías del teórico alemán Wolfgang Iser, la cual cuestiona los valores de las mercancías y cómo estas son adquiridas no por la función que cumplen sino por su *"aparecer sensible"* y lo que prometen al comprador.

La exposición *TEU: 8 pies x 20 pies*, fue una reflexión acerca de las relaciones coloniales y neocoloniales de Suiza, un país que históricamente no llevó a cabo una conquista trasatlántica para colonizar territorios fuera de Europa. Sin embargo, en la actualidad Suiza encabeza ciertas prácticas neocoloniales de la mano de sus empresas. *Overseas* es precisamente un ejemplo de este fenómeno histórico contemporáneo de la práctica de apropiación de recursos naturales por parte de los países más poderosos; en este caso se trata del agua, y de cómo, en la actualidad, a partir del comercio y los principios capitalistas neoliberales, se establecen relaciones con tintes claramente neocoloniales entre los países. El principal problema radica en que, empresas multinacionales como Nestlé, se han posicionado en el mundo para explotar y comercializar los recursos, llevándose el grueso de las ganancias al país sede, en este caso Suiza, dejando daño ecológico y destrucción en el paisaje por la sobreexplotación y mal manejo del recurso, debido a la falta de regulación por parte de los gobiernos locales.

Producto de este análisis se concluyó que *Overseas* es una contribución desde el frente artístico para comprender como opera la maquinaria visual de la industria del agua embotellada y detonar la discusión sobre la apropiación de recursos por parte de empresas extranjeras y el agotamiento de los mismos a causa de la sobreexplotación. En este sentido, la investigación en términos visuales, que se genera desde el campo artístico, también contribuye a crear información que en un futuro puede utilizarse para presentar acciones orientadas a la aplicación de proyectos de sustentabilidad.

Finalmente, este trabajo contribuye en las siguientes tres líneas de investigación: en primer lugar, pone de manifiesto la importancia del arte y las humanidades para generar conocimiento acerca de las problemáticas ambientales y así poder plantear soluciones sustentables viables en un contexto transdisciplinario. En segundo lugar, representa un enfoque novedoso y poco trabajado en el campo de las humanidades, y pone de relieve la pertinencia de una línea de investigación en historia del arte, que se enfoque en el estudio de los artistas y de las piezas que abordan temas sobre medio ambiente, sustentabilidad y debate ecológica. Esto a su vez podría tener una clara repercusión en el aspecto curatorial, pues es de mi total interés generar una exposición que reúna los trabajos artísticos sobre esta línea temática. En tercer lugar, demuestra que la poderosa maquinaria visual de la industria del agua embotellada y sus mensajes engañosos, aunado a la falta de legislación en cuanto a las concesiones que tienen las empresas que explotan este recurso, representa un serio obstáculo para la implementación de un consumo de agua responsable y sustentable. Este trabajo es pues el precedente para una futura investigación doctoral y proyectos expositivos que exploren otras problemáticas ambientales a través de la investigación y las propuestas de artistas contemporáneos.

## Sistemas de monitoreo comunitario de agua para la innovación social

Lic. Karina Bautista Tovar

Muchos de los problemas hídricos en México giran en torno a la deficiente gestión del recurso, la cual se encuentra centralizada en una dependencia gubernamental sin buenos resultados. Se está buscando generar soluciones donde la gestión del agua involucre a las poblaciones locales y sus conocimientos. Una propuesta para atender este problema es el monitoreo comunitario de agua, el cual ha demostrado múltiples beneficios para las comunidades locales y, de ese modo, se conciben soluciones y estrategias adecuadas. Por otro lado, la innovación social reconoce la importancia de que las poblaciones locales se organicen para resolver problemas y necesidades locales, donde los procesos de participación son indispensables. Sin embargo, la innovación social es un concepto que carece de definición consensuada y, por tal, es difícil identificar qué es innovación social y cómo se llega a ella.

Bajo este contexto, el objetivo general de esta tesis fue: evaluar si el uso de sistemas de monitoreo comunitario de agua es efectivo para generar innovación social en un contexto de comunidad indígena. Y los objetivos específicos fueron: valorar las limitaciones y desafíos que dificultan el proceso de monitoreo; determinar las motivaciones comunitarias, así como los posibles beneficios y las oportunidades; y, finalmente, determinar los aspectos clave de la innovación social y evaluar si el monitoreo comunitario de agua puede ser considerado como tal.

La tesis se sustentó en un estudio de caso donde se implementaron técnicas y métodos de carácter cualitativo. Se trabajó con una comunidad de la periferia de la ciudad de Morelia, Michoacán, que es un asentamiento irregular ubicado dentro de un ANP y Sitio Ramsar. Sus pocos habitantes se encuentran inmersos en un estilo de vida sustentable,



► Lic. Karina Bautista Tovar.

donde realizan actividades para mitigar su impacto en el territorio y generar conciencia ambiental.

Se conformó una comisión para el monitoreo comunitario de agua (tres personas de la comunidad y cuatro facilitadores). Los materiales utilizados fueron el kit LaMotte, el sensor de Química Avanzada PS-2172 de PASCO, el software SPARK VUE, smartphones, GPS, computadoras portátiles, hojas de rotafolio, hojas de registro de parámetros de calidad de agua, guía de monitoreo comunitario de calidad del agua y fichas sobre calidad del agua.

Los métodos utilizados fueron el grupo focal, taller de mapeo participativo, taller de capacitación para el uso de los equipos y el análisis de datos, etnografía para la evaluación del proceso, recorridos en campo y el monitoreo de calidad del agua. Para evaluar el monitoreo comunitario de agua se revisaron contribuciones teóricas de diferentes instituciones de investigación, con el fin de identificar aspectos y criterios que se consideran como indispensables para que una actividad pueda ser considerada innovación social, y se comparó con la experiencia en la comunidad.

Los resultados mostraron que, entre las limitaciones y desafíos, el uso de las tecnologías presentaba cierta dificultad y la participación en el proceso se vio afectada, ya que hubo una disminución de participantes a lo largo de la actividad. El conocimiento científico-técnico sobre los aspectos de calidad del agua tampoco fue fácil de asimilar por los participantes. Entre otros desafíos se encontraron diferentes expectativas del monitoreo entre académicos y personas de la comunidad. En cuanto a las motivaciones comunitarias, beneficios y oportunidades, la principal motivación de la comunidad es el compromiso social y ambiental que tienen con el territorio. Por otra parte, la adquisición de nuevas habilidades técnicas es un beneficio que se obtiene por medio de la práctica y la coproducción de conocimientos ocurre a

través del intercambio de saberes con agentes externos.

Finalmente, el monitoreo comunitario de agua, realizado en esta comunidad, presentó características que son indispensables para que un proyecto pueda ser considerado innovación social. Entre algunos criterios sobresalientes está su carácter social, es decir, debe beneficiar a un gran número de personas y, en este caso, se benefició a más personas fuera de la comunidad, como aquellos que se abastecen del agua del manantial. También, es vigente, consolidada y expansiva, pues el monitoreo comunitario de agua ya se realiza en más lugares. Además, involucra y moviliza a sus beneficiarios, ya que la comunidad fue la encargada de realizar la actividad, y se crearon nuevas relaciones externas que fueron benéficas para todos los involucrados. Se puede concluir que esta actividad se encuentra en la fase de *sustaining* "sostenimiento" y en la dimensión de satisfacción de necesidades humanas.

Como conclusión, el monitoreo comunitario de agua y la innovación social comparten aspectos que posicionan a la comunidad gestora del proyecto como el motor del cambio, además de que el monitoreo comunitario del agua presenta características que la innovación social identifica como fundamentales. Por su parte, las redes de colaboración y la satisfacción de necesidades son dos aspectos que se desarrollaron convenientemente durante este proceso, y el conocimiento adquirido por la comunidad representa un gran valor para la defensa del territorio. La principal contribución de este trabajo es que se logró establecer una relación entre la innovación social y el monitoreo comunitario del agua, que es un vacío en la literatura académica. Se propone seguir esta línea de investigación evaluando más casos de monitoreo comunitario de agua, para determinar si se pueden considerar como innovación social o si este fue un caso aislado, donde el contexto de la comunidad permitió su desarrollo.







# Conclusiones



## Dr. Fernando J. González Villarreal

El 8° Encuentro Universitario del Agua se consolidó como un espacio dedicado a intercambiar conocimientos y experiencias sobre el agua. Es evidente el interés de la comunidad universitaria por reflexionar en torno a los recursos hídricos, en sus problemáticas y posibles soluciones.

El problema del agua es un asunto prioritario para el desarrollo de nuestro país y el bienestar de la población, así como para la producción económica y de empleo. El estrés hídrico, la escasez y abundancia de agua en diversas regiones del país requieren de una atención integral, multinivel, multiescalar y multisectorial. Para la solución de estos problemas es necesaria la participación de los jóvenes universitarios.

La Red del Agua busca contribuir al desarrollo del conocimiento, tanto a en el ámbito global como en el regional y local. Además, estamos trabajando en el Centro Regional de Seguridad Hídrica para América Latina y el Caribe (CERSHI), en el cual contamos con un grupo de expertos asociados y proyectos emblemáticos para el futuro del agua en México. El primero, relacionado directamente con la educación, es un Massive Open Online Course (MOOC) acerca de la seguridad hídrica de la región.

Cada uno de los temas abordados en este Encuentro Universitario 2019 está estrechamente vinculado con las actividades que desarrollamos en la Red del Agua y, ahora, en el CERSHI. Un agradecimiento especial para los conferencistas magistrales, ponentes y moderadores que hicieron posible este evento. Los invitamos a trabajar juntos para el próximo Encuentro en el 2020.



► El Dr. Fernando J. González Villarreal, durante sus palabras de clausura.



---

**Red del Agua UNAM**

**[www.agua.unam.mx](http://www.agua.unam.mx)**

Abril 2020