

PROGRAMA ESPECIAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN MATERIA DE AGUA

Documento básico de líneas prioritarias de investigación, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos en materia de agua en México



Mayo, 2012

**PROGRAMA ESPECIAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
EN MATERIA DE AGUA**

**DOCUMENTO BÁSICO DE LÍNEAS PRIORITARIAS DE INVESTIGACIÓN,
DESARROLLO TECNOLÓGICO Y FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS
EN MATERIA DE AGUA EN MÉXICO**

COMITÉ EDITORIAL

DR. EUGENIO GÓMEZ REYES, UAM – IZTAPALAPA – D.F. (Coordinador)

DR. ISMAEL AGUILAR BENITEZ, COLEF – NUEVO LEÓN

DR. VÍCTOR HUGO ALCOCER YAMANAKA, IMTA – MORELOS

DR. VICENTE ÁNGELES MONTIEL, UACH – MÉXICO

DR. FRANCISCO JAVIER APARICIO MIJARES, IMTA – MORELOS

DRA. MARÍA AURORA ARMIENTA HERNÁNDEZ, UNAM – D.F.

M.C. VÍCTOR BOURGUETT ORTIZ, IMTA – MORELOS

LIC. ELENA BURNS STUCK, UAM – D.F.

M.C. ALDO ANTONIO CASTAÑEDA VILLANUEVA, UDG – JALISCO

ARQ. LORETA CASTRO REGUERA MANCERA, UNAM – D.F.

DR. LUCIANO CHÁVEZ FRANCO, INSTITUTO DE ASISTENCIA E INVESTIGACIÓN EN ZONAS ÁRIDAS – COAHUILA

M.C. ROBERTO CONSTANTINO TOTO, UAM – XOCHIMILCO – D.F.

DRA. JUANA ENRIQUETA CORTÉS MUÑOZ, IMTA – MORELOS

DR. JOSÉ LUIS COVARRUBIAS RAMÍREZ, INIFAP – COAHUILA

DR. SERGIO CRUZ LEÓN, HIDROINFORMÁTICA, S.A. DE C.V. – D.F.

DR. BENJAMÍN DE LEÓN MOJARRO, IMTA – MORELOS

DRA. GUADALUPE DE LA LANZA ESPINO, UNAM – D.F.

DR. CARLOS DÍAZ DELGADO, UAEMEX – MÉXICO

M.C. EDUARDO FRANCISCO DONATH DE LA PEÑA, IMTA – MORELOS

DRA. JUDITH DOMÍNGUEZ SERRANO, COLMEX – D.F.

DRA. DORA MARÍA FRÍAS MÁRQUEZ, UJAT – TABASCO

DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ, UNAM – D.F.

DRA. MARÍA ALICIA DE LOS ÁNGELES GUZMÁN PUENTE, UAEM – MORELOS

DR. SERGIO JIMÉNEZ HERNÁNDEZ, UAT – TAMAULIPAS

DRA. JAQUELINE LAFRAGUA CONTRERAS, IMTA – MORELOS

DR. ARMANDO LÓPEZ SANTOS, URUZA – UACH

DR. CARLOS CRISTIAN MARTÍNEZ CHÁVEZ, UMSNH – MICHOACÁN

DR. JAIME MARTÍNEZ GARCÍA, UASLP – SAN LUIS POTOSÍ

DRA. GABRIELA MOELLER CHÁVEZ, IMTA – MORELOS

DR. OSCAR MONROY HERMOSILLO, UAM – IZTAPALAPA – D.F.

DR. DANIEL MURILLO LICEA, IMTA – MORELOS

DR. WALDO OJEDA BUSTAMANTE, IMTA – MORELOS
DRA. MARÍA VICTORIA OLAVARRIETA CARMONA, UNISON – SONORA
DR. SAZCHA MARCELO OLIVERA VILLAROEL, UAM CUAJIMALPA – D.F.
DRA. ÚRSULA OSWALD SPRING, UNAM – D.F.
DR. JOSÉ LUIS PIMENTEL EQUIHUA, COLPOS – MÉXICO
DRA. MARÍA ISABEL RAMÍREZ AGUILAR, CICESE – BAJA CALIFORNIA
DR. JOSÉ ALFREDO RAMOS LEAL, IPICYT – SAN LUIS POTOSÍ
DR. JOSÉ ÁNGEL RAYNAL VILLASEÑOR, UDLAP – PUEBLA
JOSÉ LUIS ROCHA RODRÍGUEZ, DATAETICA – GUANAJUATO
DR. IGNACIO SÁNCHEZ COHEN, INIFAP – DURANGO
M.C. MONTSERRAT SERRA MARTÍNEZ, IMTA – MORELOS
DR. RAFAEL VAL SEGURA, UNAM – D.F.
DR. MIGUEL ÁNGEL VERGARA SÁNCHEZ, IPN – D.F.

POR EL FORO CONSULTIVO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO, A.C.

MTRA. MARÍA ARELI MONTES – ASESORA EDITORIAL

MTRA. BRENDA FIGUEROA RAMÍREZ – COORDINADORA DE ESTADÍSTICA Y PROYECTOS

LIC. VÍCTOR M. ARIAS ESTÉVEZ – COORDINADOR DE VINCULACIÓN CON ACADÉMICOS Y EMPRESARIOS

INSTITUCIONES CONVOCANTES:

FORO CONSULTIVO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO, A.C. (FCCYT)

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT)

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA)

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (IMTA)

Índice

I. INTRODUCCIÓN	6
II. LOS RETOS	9
1. Cuencas en Equilibrio	9
2. Ríos Limpios	18
3. Cobertura Universal	29
4. Asentamientos Seguros frente a Inundaciones Catastróficas	35
5. Sequías	39
6. Monitoreo e Instrumentación	41
7. Modelación Predictiva	44
8. Formación de Recursos Humanos	45
III. COMENTARIOS FINALES	49
IV. BIBLIOGRAFÍA	50

I. INTRODUCCIÓN

La comunidad científica mexicana ha desarrollado y escalado un amplio conjunto de competencias en el campo de la investigación en materia de agua que incluye, entre otros, el desarrollo de conocimiento fundamental, la evaluación de la cantidad y calidad de la misma, el diseño de obras hidráulicas, el desarrollo de productos tecnológicos innovadores para el mejor aprovisionamiento y consumo del agua, así como acervos de mediciones, modelación numérica, sistemas de alerta, procesos para la gestión sostenible del agua y las cuencas, conservación ambiental y de ecosistemas, seguridad del agua, desarrollo urbano, aspectos institucionales fundamentales para garantizar la gobernanza del agua –tales como los vínculos con el bienestar poblacional– y participación social. En vista de los problemas del agua a nivel mundial, de su creciente demanda en usos distintos a nivel nacional, así como de la necesidad de estrategias de adaptación ante el cambio climático en el sector hídrico y otras actividades económicas, el país requiere de la confluencia de estas competencias para lograr un manejo sostenible del recurso hídrico.

Uno de los temas primordiales de la Agenda Nacional se refiere a la sostenibilidad de los recursos hídricos distribuidos en la región continental, zonas costeras y marinas, ya que resulta fundamental para el desarrollo y el bienestar de la sociedad. En México se ha considerado de vital importancia asentar las bases que permitan enfrentar los retos presentes y futuros en el tema de la sostenibilidad y, para lograrlo, la plataforma idónea es la labor científica a través de la investigación y el desarrollo tecnológico en materia de agua. Pero, ¿está la comunidad científica mexicana debidamente organizada para enfrentar los grandes desafíos que plantea la sostenibilidad en materia de agua? ¿Cuáles son los retos científicos que necesitan ser atendidos en el corto, mediano y largo plazos para lograr la sostenibilidad hídrica en México? ¿Cómo se pueden consolidar nuevos conocimientos y, sobre todo, acercamientos interdisciplinarios que permitan relacionar los aspectos naturales con los sociales? ¿Cuáles son los mecanismos de vinculación para que trasciendan los resultados de la investigación en la toma de decisiones de la gestión integral del agua?

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) inició en 2009 la integración de científicos mexicanos en campos de atención a las problemáticas nacionales. En el caso del agua, se creó la “Red Temática del Agua del CONACYT” (RETAC), la cual promueve la coordinación de los esfuerzos entre las competencias existentes en investigación del agua en México. Se considera que la suma de tales esfuerzos y competencias puede consolidarse si se enfoca la investigación a atender los retos relevantes, por lo que se hace necesario identificar puntualmente las líneas estratégicas de investigación relacionadas con la problemática del agua. La RETAC ha definido cinco temas básicos, donde, de

manera transdisciplinaria, se analiza el manejo de cuenca, los usos y necesidades del agua, la calidad del agua y la salud, los aspectos sociopolíticos, conflictos y negociación de controversias, así como los fenómenos económicos, jurídicos y administrativos e infraestructura relacionados con el recurso hídrico. Asimismo, se ha promovido la consolidación de grupos interdisciplinarios que analizan problemas regionales relacionados con el agua. Sólo así podrán ponerse en marcha, de manera dirigida, los recursos científicos y tecnológicos locales, regionales y nacionales que demanda la sostenibilidad hídrica en el país, con mayores perspectivas de éxito.

Con el propósito de identificar esos grandes retos de investigación del agua, el Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC (FCCyT) organizó recientemente el Foro Nacional para la Elaboración del Programa Especial de Ciencia y Tecnología en Materia de Agua, en el que participó un amplio número de investigadores nacionales de la RETAC y de otras redes de investigación y asociaciones especializadas en el tema, así como de autoridades relacionadas con los recursos hídricos y miembros del sector empresarial. La documentación base para el análisis fue el Programa Nacional Hídrico 2007-2012 y la Agenda del Agua 2030, que son el referente de la política hídrica sostenible del gobierno federal. La intención de ese ejercicio fue que los tomadores de decisiones dispongan de un documento-guía de la investigación que se requiere para enfrentar el reto de la sostenibilidad en materia de agua en México.

Durante el desarrollo del Foro Nacional, los participantes intercambiaron opiniones, propuestas y contribuciones en temas que se organizaron bajo cuatro ejes rectores, que según la Agenda 2030, es posible alcanzar la sostenibilidad de los recursos hídricos en nuestro país: Cuencas en Equilibrio, Ríos Limpios, Cobertura Universal y Asentamientos Seguros frente a Inundaciones Catastróficas. La finalidad de la discusión fue identificar las áreas de oportunidad para la investigación científica en los ejes mencionados.

Como resultado del trabajo conjunto entre los diversos grupos de investigación del país, derivaron diferentes puntos de vista y sugerencias que se considera son de la mayor importancia y prioridad, las cuales se condensan en este Documento Básico de Líneas Prioritarias de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Recursos Humanos en Materia de Agua en México. Aquí se presentan propuestas en torno a la investigación, el desarrollo tecnológico y la formación de recursos humanos que, a juicio de los expertos que participaron en el Foro Nacional, se requiere para lograr los objetivos de sostenibilidad del recurso hídrico planteados en la Agenda del Agua 2030.

Un aspecto consensado durante el Foro Nacional fue la identificación de ocho grandes retos de investigación que pueden ser usados posteriormente para formular programas de investigación a detalle. El Comité Editorial de este documento está consciente de que el

material de trabajo cubre una gran variedad de campos de investigación y conocimiento en materia de agua; asimismo, que algunos se abordan con mayor detalle y de manera más específica que otros, pero eso dependió de las contribuciones y de las discusiones que se tuvieron en cada una de las mesas de trabajo. Los retos y líneas de investigación propuestos fueron revisados y complementados por cada uno de los participantes del Foro Nacional. El documento final se presentará tanto al CONACYT como a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), con el objetivo de apoyar y fortalecer el proceso de formulación de los planes hídricos y el direccionamiento de los recursos financieros correspondientes, que faciliten lograr la sostenibilidad de los recursos hídricos en México.

En las secciones subsecuentes se especifican las líneas de investigación y de desarrollo tecnológico necesario para elaborar el Programa Especial de Ciencia y Tecnología en Materia de Agua, de acuerdo con los cuatro ejes temáticos presentados en la Agenda del Agua 2030 y los cuatro temas adicionales surgidos durante el Foro Nacional: 1) Cuencas en Equilibrio, 2) Ríos Limpios, 3) Cobertura Universal, 4) Asentamientos Seguros frente a Inundaciones Catastróficas, 5) Sequías, 6) Monitoreo e Instrumentación, 7) Modelación Predictiva, y 8) Formación de Recursos Humanos.

II. LOS RETOS

1. CUENCAS EN EQUILIBRIO

Debido al déficit en el abastecimiento de la demanda del agua ocasionado por la sobreconcesión de volúmenes, por la destrucción de zonas de recarga y ecosistemas que realizan vitales servicios hídricos y ambientales, por la alteración del régimen pluvial a raíz del cambio climático global y por los conflictos generados debido a la competencia por el uso del agua, la estrategia de Gestión Integrada de Cuencas y sus Recursos Hídricos (GICRH) resulta fundamental para lograr el equilibrio hídrico de las cuencas que requiere el desarrollo de las generaciones futuras en el país. Sin embargo, las actuales políticas de la GICRH en México están lejos de cumplir este objetivo. En algunos casos no existen técnicas de manejo de agua adecuadas, mientras que en otros existe un ineficiente manejo de este recurso; en general, faltan procesos consensados de planeación por cuenca que servirían como la base de políticas y acciones requeridas para lograr su GICRH.

Para hacer posible la GICRH, entre otras acciones, es importante identificar las áreas de investigación necesarias para lograr la recuperación y gestión equilibrada del recurso hídrico en las distintas cuencas del país. Se considera que deben atenderse cinco líneas de investigación y desarrollo tecnológico:

- A. Superficie de riego tecnificada.
- B. Cuencas autoadministradas.
- C. Reutilización de las aguas tratadas.
- D. Acuíferos en equilibrio.
- E. Balance hídrico.

1.1 Línea de Investigación: Superficie de riego tecnificada

La política de la GICRH en México tiene como objetivo lograr el equilibrio hídrico de sus cuencas, por lo que en la agricultura –el mayor consumidor de agua dado el indispensable proceso evapotranspirativo de los cultivos– se deben tomar medidas para hacer un uso más eficiente del agua. Su baja eficiencia de uso en ese sector generalmente se debe a la obsolescencia de los sistemas de riego parcelario y a la falta de una cultura de racionalización de este recurso. Esto genera no sólo un gran desperdicio de agua, sino que también, debido a los agroquímicos disueltos, provoca contaminación difusa de corrientes superficiales y subterráneas de importancia antropogénica y ecológica y, en casos extremos, el aumento de sales en los suelos. El conocimiento de las necesidades de agua de los cultivos y la aplicación consecuente de sistemas de riego apropiados, así como el manejo de suelos que permiten un aprovechamiento óptimo del recurso hídrico, no sólo

contribuyen a ahorrar considerables volúmenes de agua, sino que posibilitan también un mejor desarrollo de los cultivos, para aumentar la producción, mejorar la calidad de las cosechas y, a la vez, conservar los suelos. De interés especial son las zonas de riego ubicadas sobre zonas de recarga en cuencas urbanas y metropolitanas, las cuales ofrecen una oportunidad única para la sostenibilidad urbana, al adaptarse a la utilización de aguas residuales tratadas.

Es importante considerar el impacto de los subsidios al campo, en especial, el de la energía eléctrica. El costo de bombeo de agua no es significativo en los costos de producción agrícola debido a que es de 5 a 6 veces menor que para uso público. Las tarifas de energía eléctrica son preferenciales para el campo. Además de esas bajas tarifas, no se hacen cargos por bajo factor de potencia, lo que ocasiona que la eficiencia hidráulica y energética de los equipos sea muy baja y de poco interés. Así, pues, el uso agrícola no sólo consume gran cantidad de agua, sino también de energía eléctrica sin impacto en sus costos.

Con la finalidad de lograr la recuperación de volúmenes en el uso del agua para riego agrícola, se ha priorizado la necesidad de investigación y desarrollo tecnológico en los siguientes aspectos:

- a) Estudio sobre el impacto de los subsidios al campo, específicamente el de la energía eléctrica.
- b) Estudio de los consumos reales y netos de agua en los cultivos, para las diferentes regiones agroclimáticas y diferentes series de tiempo.
- c) Rehabilitación, mantenimiento, modernización e innovación de infraestructura hidroagrícola, con el fin de mejorar la eficiencia, ahorrar agua y liberar volúmenes concesionados, tomando en cuenta el riego en tiempo real, labranza óptima en zonas de riego, nuevas tecnologías en riego por gravedad, riego presurizado (riego por aspersión y riego localizado) y agricultura protegida.
- d) Tecnologías de tratamiento de agua residual para uso de riego agrícola, considerando la adaptación de cultivos y técnicas de riego con agua tratada, así como la sustitución de los volúmenes concesionados por los volúmenes de agua residual tratada.
- e) Desarrollo y mejora de métodos y sistemas de conducción y distribución para facilitar la medición remota y directa de los volúmenes entregados a los usuarios de riego agrícola, así como para utilizar la técnica de avance y recesión en riego por superficie para incrementar su eficiencia.

- f) Desarrollo y evaluación de técnicas y métodos para la conservación de la calidad del agua, suelo y energía en los sistemas de producción agrícola, acuícola y ecológica.
- g) Redimensionamiento de las zonas de riego de acuerdo con la disponibilidad de agua y cambios de uso del suelo, incluyendo el diseño de sistemas de riego sobre zonas de recarga en zonas urbanas para el aprovechamiento e infiltración de aguas residuales tratadas.
- h) Establecimiento de sistemas regionales de monitoreo de riesgos climáticos en apoyo a la planificación y operación del riego y otras acciones de la producción agrícola.
- i) Búsqueda de mecanismos diferenciados para la GICRH en acuíferos sobreexplotados y con problemas de salinización.
- j) Desarrollo de cultivos alternativos como los hidropónicos, los de baja demanda de agua (cártamo, algodón, trigo, garbanzo), plantas para xerojardinería, así como incentivar la investigación de geles hidropónicos para huertas frutales en zonas áridas.
- k) Desarrollo de estudios y proyectos sobre adopción social de tecnologías para mejorar la producción agrícola.
- l) Promoción del desarrollo de investigación y divulgación de literatura técnica y científica actualizada, que permita al usuario final tener el conocimiento general y particular de su participación.

1.2 Línea de Investigación: Cuencas autoadministradas

Por cuenca autoadministrada se entiende aquella que a través de diferentes instancias de gobierno que ahí operan (federales, estatales y municipales), junto con la sociedad civil organizada (académicos, empresarios, ejidatarios, comuneros y organizaciones civiles), formulan los programas de uso y conservación del agua dentro de la cuenca, y cotizan la operación, que será el presupuesto de operación de la CONAGUA para esa cuenca –la suma de los presupuestos de todas las cuencas deberá constituir el presupuesto global de operación y construcción de obras hidráulicas de la CONAGUA.

La aplicación del concepto "cuencas autoadministradas" en otros países ha generado sinergias entre las instancias involucradas. Esto ha permitido superar la fragmentación de políticas y programas institucionales, así como ha servido para el diseño, aplicación y evaluación de estrategias e instrumentos apropiados a los retos y oportunidades específicos en cada cuenca. Sin embargo, por muchos motivos, los Consejos de Cuenca y sus organismos auxiliares en México han distado mucho de la intención de la ley. Por lo

tanto, se requiere analizar estas experiencias para poder diseñar propuestas que fomenten una relación de corresponsabilidad entre el gobierno y la sociedad organizada en torno a la necesidad apremiante de lograr la GICRH.

El reciente cambio del Artículo 4º de la Constitución, junto con el mandato de aprobar dentro de un año una nueva Ley General del Agua para garantizar la instrumentación del Derecho al Agua, sólo refuerza la necesidad de analizar la institucionalidad actual y realizar propuestas para cumplir plenamente con las metas contenidas en un marco legal en proceso de evolución. En particular, se señala la necesidad de generar propuestas de diseño institucional que permitan:

- a) Que las inversiones en obras hidráulicas sean congruentes con los procesos de planeación por cuenca y, además, que sean sujetas a una revisión pública de sus costos y beneficios hídricos, ambientales, sociales y económicos.
- b) Revisión, análisis y actualización de la legislación vigente, a nivel de normas y reglamentos de la GICRH, para lograr la sostenibilidad de las cuencas superficiales y subterráneas.
- c) Generar esquemas eficientes de administración de las Unidades de Riego para la regularización de las concesiones, la promoción del uso eficiente del agua y el fortalecimiento de la rentabilidad agrícola.
- d) Generar esquemas eficientes de administración de las Unidades de Acuicultura para la regularización de las concesiones, la promoción del uso eficiente del agua y el fortalecimiento de la rentabilidad acuícola.
- e) Generar mecanismos para la aplicación estricta de la legislación vigente, a nivel de normas y reglamentos para la GICRH, considerando la creación de unidades verificadores del cumplimiento de la legislación.
- f) Elaborar propuestas de alcance regional para tener mayor impacto en las investigaciones e inducir la aportación de mayores recursos financieros por parte de las dependencias federales.
- g) Generar esquemas relevantes de la participación pública en la GICRH, a través del incremento en la eficacia de los Consejos de Cuencas y los Comités Técnicos de Agua Subterránea (COTAS).
- h) Descentralizar funciones de la CONAGUA para propiciar la participación de particulares; por ejemplo, en el saneamiento de ríos y arroyos (concesiones), manejos sostenibles de cuencas (producción agropecuaria).
- i) Participar en la actualización de tarifas de agua potable, saneamiento y agua tratada, así como políticas y programas para incentivar el ahorro, el tratamiento y el reúso del agua a nivel doméstico, comercial e industrial.

- j) Elaborar inventarios reales y actualizados de disponibilidad de agua, generación de aguas residuales y capacidad de tratamiento real, por zonas hidrológicas y municipios.
- k) Implementar esquemas de gobernanza del agua y de participación social.
- l) Proponer proyectos de género y agua.
- m) Generar mecanismos de comparación con las regiones de otros países que permitan, mediante indicadores reales, aprovechar las experiencias exitosas que mejoren nuestra GICRH.

1.3 Línea de Investigación: Reutilización de las aguas tratadas

Del total de aguas residuales generadas en el país, sólo 10% se logra tratar y reutilizar. El tratamiento y reúso de aguas residuales representa una de las principales estrategias para lograr la sostenibilidad de las zonas urbanas y metropolitanas, especialmente en las regiones centro y norte del país. Se trata de un recurso abundante, con el potencial de remplazar aguas subterráneas de primer uso para fines industriales y agrícolas, y de servir para la recuperación de acuíferos sobreexplotados. La biomasa contenida en las aguas residuales representa una fuente de energía, cuyo aprovechamiento permite lograr procesos de tratamiento y reúso prácticamente autofinanciables.

Sin embargo, la mayoría de las aguas residuales no recibe tratamiento, y gran parte de las plantas de tratamiento en el país no está funcionando. Además, un gran número de áreas metropolitanas expulsa sus aguas residuales sin tratamiento a grandes distancias, contaminando otras cuencas y desaprovechando la oportunidad de aumentar la disponibilidad natural del agua dentro de la cuenca generadora de los volúmenes de agua residual.

Las razones del bajo tratamiento y reúso de aguas residuales incluyen: falta de tratamiento, altos costos de operación, falta de capacitación, ausencia de normativa en su gestión y control deficiente del proceso productivo, contaminación industrial en colectores de uso residual doméstico, falta de esquemas que faciliten el uso local de las aguas tratadas.

En ese contexto, es necesario reconocer la importancia económica que se deriva del reúso del agua en las zonas productoras de México, así como la experiencia generada y las necesidades para el mejoramiento de los sistemas productivos, bajo un esquema de inocuidad alimentaria y ecológica. Además, habrá que evaluar cuidadosamente el impacto del agua virtual relacionado con el comercio agropecuario.

Con el fin de lograr el reúso óptimo de las aguas residuales tratadas, se ha identificado y priorizado la necesidad de investigación y desarrollo tecnológico en los siguientes aspectos:

- a) Desarrollo de tecnologías de tratamiento que implique bajos costos de operación, con un énfasis en tecnologías que aprovechen la biomasa.
- b) Diseño de arreglos institucionales que permita fomentar el financiamiento y reúso local de las aguas tratadas.
- c) Detección de oportunidades para remplazar aguas subterráneas de primer uso con aguas tratadas, así como el diseño de sistemas físico-mecánicos y de los arreglos institucionales requeridos para lograrlo.
- d) Diseño de esquemas para lograr la recarga del acuífero con aguas tratadas y potabilizadas.
- e) Diseño de tecnologías de tratamiento adaptadas a su forma de reúso potencial, conservando, por ejemplo, el nitrógeno y fósforo en aguas para riego agrícola.
- f) Riesgos microbiológicos por el uso de aguas residuales en el riego de cultivos.
- g) Factibilidad del reúso de aguas grises en el riego de jardines de multifamiliares, así como el impulso de la producción urbana.
- h) Uso de microorganismos benéficos y su actividad enzimática para reúso de aguas residuales.
- i) Diagnóstico y programa de monitoreo periódico y permanente de contaminantes emergentes en reúso de aguas tratadas.
- j) Impacto físico-químico en el suelo por concepto de aguas tratadas (salinización).

1.4 Línea de Investigación: Acuíferos en equilibrio

En México, el agua subterránea es un recurso vital para el desarrollo de todos los sectores, ya que en más de 60% del territorio nacional prevalecen los climas seco y semiseco, en donde la demanda es satisfecha con volúmenes de agua proveniente de los mantos subterráneos. Asimismo, el agua subterránea es la fuente que sostiene el riego de dos millones de hectáreas –la tercera parte de la superficie total bajo riego–; suministra cerca de 70% del volumen de agua que requieren las ciudades para uso público-urbano, en donde se concentran 60 millones de habitantes; y abastece a la mayoría de las instalaciones industriales y casi la totalidad de la demanda de agua de la población rural.

En la actualidad, sobre todo en la región árida del norte de la República, el riego agrícola consume volúmenes de agua no sostenibles extraídos de los mantos subterráneos, situación que conlleva a la sobreexplotación. La tendencia hasta ahora observada en el abatimiento de la mayor parte de los acuíferos, podría verse acelerada debido al

incremento esperado en la demanda de agua para satisfacer los requerimientos de los cultivos bajo riego, como consecuencia en los incrementos de la temperatura y disminución de las lluvias, incrementándose por ende los impactos ecológicos –v. gr. desaparición de lagos y humedales, merma del caudal base de ríos y pérdida de ecosistemas y sus servicios ambientales–, así como los efectos en la disminución del rendimiento de los pozos, subsidencia y agrietamiento del terreno, contaminación del agua subterránea, intrusión salina y una fuerte competencia entre usuarios.

En particular, se señala la vulnerabilidad de las grandes ciudades del centro y del norte del país, las cuales dependen de acuíferos que sufren tasas crecientes de sobreexplotación que ponen en riesgo no sólo el futuro abastecimiento para sus habitantes, sino también la integridad de su patrimonio arquitectónico, debido a procesos acelerados de hundimiento.

Lo anterior reclama un manejo más racional de la reserva de agua subterránea, que considere las limitaciones impuestas por su lenta renovación y otras restricciones físicas, económicas y ambientales, para prevenir su explotación destructiva y lograr el equilibrio de los acuíferos. Las sugerencias del grupo de investigadores que discutieron este tema coinciden en señalar que se requiere de acciones que restablezcan el equilibrio de los acuíferos, con base en la revisión de las políticas, normas y costumbres vigentes, para propiciar el uso eficiente del agua y prácticas de recarga. Asimismo, se necesita fomentar la investigación básica y aplicada para el desarrollo de metodologías y técnicas de simulación de la dinámica del agua a nivel de cuenca, con participación multidisciplinaria, así como la identificación de los patrones de utilización con fines económicos y sociales.

Las investigaciones requeridas con la finalidad de atender la problemática del manejo sostenible para el aprovechamiento de las aguas subterráneas, son las siguientes:

- a) Delimitación de zonas estratégicas de recarga para los acuíferos sobreexplotados en cuencas urbanas, a fin de asentar las bases para su protección y lograr el aprovechamiento máximo de sus capacidades de infiltración como servicio ambiental.
- b) Diseño de estrategias y proyectos para lograr la recarga de acuíferos con agua de lluvia, bajo una GICRH que considere el caudal ecológico y el seguimiento sobre la función y alcances de obras de retención de flujo de agua.
- c) Diseño de estrategias y proyectos para lograr la recarga de acuíferos en zonas urbanas con aguas pluviales y residuales tratadas.
- d) Métodos alternativos para determinar la recarga en acuíferos con limitada información.

- e) Dinámica de los acuíferos costeros como zonas de intercambio de masas de agua que sostienen recursos pesqueros.
- f) Uso de satélite para estimar el almacenamiento y detección de variaciones en acuíferos.
- g) Estudios de impacto, vulnerabilidad, riesgo y sostenibilidad de recursos hídricos subterráneos bajo consideraciones de variabilidad y cambio climático.
- h) Desarrollo, validación y aplicación de indicadores para estudiar la dinámica de la biodiversidad de ecosistemas subterráneo-superficiales.
- i) Recuperación de ecosistemas riparios.
- j) Sistemas productivos, considerando su potencial y reconversión para sustitución de agua de pozos, así como su impacto en la degradación ambiental.
- k) GICRH y costeros en donde se incluyan: desarrollo, validación y aplicación de métodos e indicadores en la GICRH; sistemas de producción pesquera y acuícola; funcionamiento hidrogeológico a nivel cuenca; análisis y alternativas de solución de conflictos socioeconómicos y socioambientales bajo un esquema de participación comunitaria; análisis del impacto de subsidios aplicado a sistemas productivos y ambientales, de acuerdo con las actividades y estratos socioeconómicos; desarrollo de metodologías o estrategias de recuperación de cuencas; cosecha de agua pluvial; separación de aguas grises de negras en las urbes y reúso de las primeras en WC, jardines y parques para reducir la extracción de los acuíferos; estudios de impacto sobre cambio del uso de suelo; fuentes alternas de energía para el bombeo eficiente; estudios de diagnóstico de los equipamientos de bombeo.
- l) Implementación del criterio del rendimiento seguro para conocer cuál es el volumen que realmente se le puede extraer al acuífero y, en lo posible, tender a llegar a esa meta con políticas de extracción acordes con la dinámica del acuífero.
- m) Estudios, investigaciones y proyectos en relación con la gobernanza del agua subterránea.

1.5 Línea de Investigación: Balance hídrico

La noción del "equilibrio del recurso hídrico" tiene como base el conocimiento de la situación actual y tendencias futuras de los sistemas de almacenamiento, control de avenidas y distribución del agua para los diferentes usos que se le da a este recurso en todo el país, teniendo como premisa fundamental la sostenibilidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales. Para lograr esto, es necesaria la participación activa de la sociedad informada con estudios técnicos, ambientales y socioeconómicos

suficientemente soportados con datos y análisis de calidad, y con capacidad de negociar conflictos por el uso del agua.

Las áreas de investigación requeridas para incrementar la disponibilidad natural del agua, tanto en cantidad como en calidad, se considera que son las siguientes:

- a) Balance volumétrico y de calidad del agua de los transvases, así como la estimación de los costos y riesgos ambientales, sociales, económicos y energéticos (utilizando precios actuales y proyecciones a futuro), en relación con esquemas alternativos de aprovechamiento de agua de cada cuenca en la suya propia.
- b) Criterios de diseño de obras de aprovechamiento de los excedentes pluviales, en zonas de inundación, como fuentes para el abastecimiento de agua.
- c) Análisis de conflictos sociales por el acceso al agua potable y para el saneamiento de cuencas con prácticas de hidrodiplomacia, que incluyan la creación de observatorios de conflictos por cuenca.
- d) Diseño de propuestas para el control de la evapotranspiración con la finalidad de reducir pérdidas de agua a la atmósfera.
- e) Estudios de la huella hídrica, energía y agua virtual.
- f) Análisis de la disponibilidad y la calidad del agua para el uso doméstico bajo condiciones de cambio climático.
- g) Determinación de las necesidades hídricas de los ecosistemas para obtener los servicios ambientales cruciales y recuperar los ecosistemas deteriorados.
- h) Estudios y proyectos para la recuperación o creación de nueva infraestructura para el almacenamiento, control de avenidas y distribución del agua con fines diversos.
- i) Estudios y proyectos sobre usos sociales del agua, territorios indígenas y etnohidrología.
- j) Estudios sobre caudales ecológicos, actividades humanas y usos del agua.
- k) Determinación de mejores prácticas de manejo de cuencas que rindan la mejor calidad del agua sin deteriorar los ecosistemas.
- l) Formular reglamentos para la distribución de las aguas superficiales por cuenca, respetando el caudal mínimo ecológico.
- m) Estudios para el conocimiento y conservación de humedales continentales costeros.

2. RÍOS LIMPIOS

Una creciente población humana produce el depósito de una multitud de compuestos al ciclo del agua. Entre las causas principales que comprometen la calidad de los cuerpos de aguas naturales, se encuentra la que tiene origen en las descargas industriales, municipales y agropecuarias aplicadas a un cuerpo de agua y al suelo que contaminan las aguas superficiales y subterráneas. La falta de un ordenamiento territorial adecuado y el incremento en el uso de agroquímicos y pesticidas para la producción de alimentos, así como el abuso en el uso y consumo de energía no renovable, están llevando a un incremento en la carga contaminante que elevará la presión sobre los sistemas acuáticos. Los cambios en la calidad del agua son acumulativos y afectan la capacidad de resiliencia de los cuerpos de agua a corto, mediano y largo plazos, y no son fáciles de revertir, entre otros factores, por los tiempos de residencia de los contaminantes dentro de los sistemas acuáticos.

Lograr que todos los arroyos, ríos y, en general, los cuerpos superficiales de agua del país recuperen la salud de los ecosistemas y biodiversidad natural, aporten sus caudales para satisfacer las necesidades de la población y el crecimiento económico y sigan, en la medida de lo posible, embelleciendo el paisaje y contribuyendo a la calidad de vida de la población, requiere de mantenerlos limpios de basura, sin descargas de aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas crudas que los contaminen y que los afecten más allá de su capacidad natural de asimilación y recuperación. Asimismo, es necesario que sus cauces y zonas federales estén libres de asentamientos humanos y construcciones que alteran los flujos de agua y aumentan los riesgos para las personas y sus bienes cuando ocurren lluvias torrenciales u otros fenómenos meteorológicos extremos.

Hasta ahora, se cuenta sólo con métodos limitados para observar, medir o hasta alterar cuantitativamente la composición y el destino de los flujos de materia, incluidos todos los contaminantes. Por eso, se han priorizado las áreas clave de atención, según su relevancia, en las siguientes líneas de investigación y desarrollo tecnológico:

- A. Calidad del agua.
- B. Tratamiento de aguas municipales.
- C. Tratamiento de aguas industriales.
- D. Ríos y lagos sin basura.
- E. Control de fuentes de contaminación difusa.
- F. Valoración de impactos de la contaminación en cuerpos de agua.
- G. Fragmentación de ecosistemas por el almacenamiento del agua de los ríos.

Obviamente, estas prioridades pueden cambiar su relevancia en distintas regiones hidrológicas del país, y las prioridades también pueden modificarse a lo largo del tiempo. A la fecha, dentro de las cuencas y estados prioritarios que requieren atención en la problemática de ríos limpios, se incluyen: Lerma-Santiago, Balsas, San Juan, Yucatán, Veracruz y Bravo.

2.1 Línea de Investigación: Calidad del agua

Debido a la regionalización de las actividades productivas del país, existen necesidades de evaluación específica que reflejen los efectos en la calidad del agua superficial y subterránea, así como en la salud pública y el daño a los ecosistemas, ya sea por el uso de plaguicidas y fertilizantes en las grandes regiones agrícolas, de compuestos orgánicos persistentes en éstas y en zonas industriales, de contaminantes emergentes en zonas urbanas y de uso mixto, o bien por pasivos ambientales como las grandes zonas mineras. Asimismo, es necesario adaptar e implementar nuevas técnicas analíticas que permitan identificar el efecto de mezclas complejas e incidir en el principio de que “el que contamina, paga”, con parámetros integradores como la toxicidad total del efluente, análisis de mutagenicidad y teratogenicidad, así como estudios complementarios utilizando indicadores biológicos. Se requiere que los análisis integren los procesos de transformación, transporte y destino final de los contaminantes, por lo que deberá considerarse el análisis no sólo en el agua superficial, sino en los sedimentos y en los organismos de prueba, además de la utilización de modelos predictivos y de desarrollo de escenarios. Los temas por investigar en esta materia son:

- a) Revisión, análisis y actualización de inventarios regionales, por cuencas o microcuencas de los contaminantes naturales y antropogénicos presentes, y determinación de las concentraciones base o antecedente en condiciones de no deterioro.
- b) Caracterización de retornos agrícolas por tipo de cultivos, considerando los ciclos de vida de los insumos, las cadenas de suministro y los mecanismos de control para su uso.
- c) Inventario de pasivos ambientales por actividades pasadas (minería, ganadería) o por cambio de uso del suelo (tasas de erosión y sedimentación en las corrientes).
- d) Caracterización de la toxicidad de efluentes de aguas residuales municipales para distintos centros de población.
- e) Desarrollo o adaptación de técnicas analíticas para COPs y contaminantes emergentes.

- f) Revisión de los criterios ecológicos y los límites máximos permisibles de conformidad con las concentraciones base regionales o por cuenca, y el límite de detección de los métodos analíticos.
- g) Integrar bases de datos (espacio-temporales) regionales o por cuencas, que permitan determinar sus niveles de contaminación y prioridad de atención.
- h) Adaptar o desarrollar modelos matemáticos para realizar dichos análisis espacio-temporales y determinar procesos de transporte, transformación y destino final de los contaminantes.

2.2 Línea de Investigación: Tratamiento de aguas municipales

En las regiones urbanas, los flujos de agua y de materia están íntimamente relacionados. Sus dinámicas de las cargas de nutrientes son mucho más pronunciadas que las de aquellas de fuentes difusas. A pesar de que la agricultura es la fuente dominante en lo que concierne a las cargas promedio, por las dinámicas específicas de los sistemas de aguas de desecho urbanos, estos últimos pueden contribuir sustancialmente a la contaminación de cuerpos de agua con cargas pico a corto plazo. En zonas con escasez de agua, las regiones urbanas pueden inclusive constituir la parte más grande de la carga al río. Asimismo, las regiones urbanas introducen microcontaminantes, nanopartículas, patógenos resistentes a antibióticos y disruptores endócrinos al sistema de aguas, y así potencialmente comprometen la calidad de las aguas limpias para sus usos posteriores. En este contexto, los siguientes temas de investigación son de interés primordial:

- a) Revisión, análisis y actualización de la legislación vigente, a nivel de normas y reglamentos para la autorización de descargas de aguas residuales municipales.
- b) Caracterización de las descargas de aguas residuales municipales, considerando los ciclos de vida de los insumos usados y contaminados, las cadenas de suministros y los mecanismos de control, prevención y minimización de las descargas.
- c) Diagnóstico histórico e inventarios de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, enfatizando las opciones de funcionamiento y la adaptabilidad al cambio del tipo de descarga.
- d) Estudios de sectorización del tratamiento de aguas residuales municipales considerando la aplicación de las EDAR (estaciones depuradoras de aguas residuales).
- e) Estudios de factibilidad técnica y económica para la actualización de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y la garantía de su operación en el largo plazo.
- f) Estudios de la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, empleando bioindicadores de manera tal que se asegure la

biodiversidad y la integridad ecológica de los cuerpos de agua receptores o del destino del reúso del agua tratada.

- g) Diseño de esquemas en apoyo a los gobiernos municipales para la habilitación de plantas de tratamiento en desuso, para su implementación con tecnologías anaeróbicas de bajo costo en tratamiento.
- h) Desarrollo de tecnologías alternas a la cloración para la desinfección, considerando el uso de microorganismos benéficos y su actividad enzimática en el tratamiento de aguas residuales.
- i) Revisión, análisis y actualización de la legislación vigente, a nivel de normas y reglamentos en cuanto a los criterios de reúso de aguas residuales municipales tratadas, incluyendo el reúso como fuente de agua potable y para la recarga del acuífero.
- j) Estudios de factibilidad y de diseño de infraestructura para los diversos reúsos del agua residual municipal tratada.
- k) Tratamiento y disposición de lodos residuales considerando la generación de biosólidos y la extracción de productos con valor agregado, así como el uso de biosólidos de lodos residuales como mejoradores de suelo.
- l) Fomento a la incorporación de tratamientos integrales de aguas residuales con base en sistemas naturales como humedales artificiales, generación de biogás con biosólidos, composteo de materia orgánica, agua tratada para riego y recarga de acuíferos (ciclos sostenibles).
- m) Diseño, implementación y desarrollo de biodigestores.

2.3 Línea de Investigación: Tratamiento de aguas industriales

El agua es un insumo de vital importancia tanto para las áreas de producción y servicios de los sectores económicos, como para la diversidad de procesos productivos industriales, tomando en cuenta la alta calidad requerida para los procesos, enfriamiento, calderas y servicios. La problemática de las aguas residuales industriales es un factor muy relevante para el saneamiento de los ríos, tanto por la diversidad generada como por el alto grado de contaminantes que deben ser tratados de manera particular. Gran parte del sector industrial tiende aún a descargar aguas contaminadas, resultado de su cadena de producción.

La investigación y el desarrollo de infraestructura para el tratamiento de agua residual industrial debe ser adecuado para cumplir con la normativa de reciclar agua tratada, así como para su descarga final sin alterar el equilibrio ecológico ni la calidad del cuerpo receptor, permitiendo alcanzar la meta de obtener ríos limpios.

También es importante mencionar el control de los contaminantes del sector minero, ya que puntualmente existen grandes depósitos de residuos (jales y terreros) en las riberas de ríos en distintas localidades del país. Los residuos mineros también aportan contaminantes, principalmente zinc, mercurio, plomo y arsénico, aunque también otros metales y metaloides altamente tóxicos (Cd, Sb, Tl). Cabe señalar, además, que según la forma química en que se encuentren dichos metales y metaloides, pueden movilizarse de manera diferente y presentar distintos grados de toxicidad.

A la vez, se deben diseñar incentivos económicos para la innovación en el tratamiento de aguas residuales para que la industria pueda reciclar cerca de la totalidad del agua que utiliza. La descarga de los excedentes en los ríos –como cuerpos receptores– y las condiciones actuales de contaminación exigen fortalecer los aspectos jurídicos normativos para asegurar el cumplimiento de la ley. De igual forma, los aspectos técnicos involucrados en el tratamiento de las aguas residuales deben lograr la calidad requerida en la legislación. Finalmente, la vinculación de estos temas con aquellos tratados en la línea de cuencas en equilibrio, adquiere una gran relevancia –por ejemplo, en el estudio e implementación del caudal ecológico, su calidad y la conservación de los sistemas naturales (no alterados).

Las áreas de investigación requeridas para desarrollar esta temática son las siguientes:

- a) Análisis de la efectividad de la legislación vigente, a nivel de normas y reglamentos, diseñada para eliminar la contaminación de los cuerpos de agua con contaminantes industriales, así como el diseño de propuestas para lograr este fin.
- b) Diseño de procesos industriales que permitan la sustitución de contaminantes difíciles de eliminar con otros más fáciles de remover.
- c) Elaboración de un inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, considerando los insumos empleados y el giro específico de la industria.
- d) Clasificación y regulación de los contaminantes de la industria minera (hierro, zinc, cobre, plomo, plata, arsénico, mercurio, radón).
- e) Determinación de las concentraciones y formas químicas de elementos tóxicos provenientes de residuos mineros ubicados en las riberas de los ríos y desarrollo de alternativas de prevención, control y remediación.
- f) Diagnóstico de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales industriales, enfatizando en los conceptos de inversión y costos, así como en los beneficios privados y sociales obtenidos.

- g) Desarrollo de procesos y trenes de tratamiento de aguas residuales industriales, que consideren nuevas tecnologías e innovaciones como los procesos fotocatalíticos.
- h) Desarrollo de sistemas descentralizados no convencionales para el tratamiento de aguas residuales de descargas industriales pequeñas, comunidades rurales, comercios y servicios.
- i) Diseño, desarrollo e implementación de tecnologías *ad hoc* en las industrias para el manejo de sus aguas residuales, considerando redes colectoras de drenaje industrial, tratamiento de efluentes, redes de distribución de agua residual tratada, reúso del agua residual tratada en torres de enfriamiento y en la generación de vapor.
- j) Prospectivas de diseño urbano para los hogares y ciudades que consideren ciclos de vida prolongados o reciclados y que prioricen más la utilización de productos orgánicos que los materiales inorgánicos, así como que se reubiquen las entradas y salidas de recursos naturales.
- k) Incorporación del “Pago de servicios hídricos”, semejante y/o complementaria al programa de pagos de servicios ambientales.

2.4 Línea de Investigación: Ríos y lagos sin basura

Gran parte de la “basura” que está proliferando crecientemente por todo el territorio, termina siendo arrastrada por las lluvias a los cuerpos de agua. Las consecuencias incluyen el azolvamiento de la infraestructura hidráulica, el daño a los sistemas de bombeo, inundaciones y la contaminación. Irónicamente, uno de los principales contaminantes sólidos de los cuerpos de agua es la botella de plástico (PET), producto del consumo humano de agua y de otros líquidos, vía envases no retornables.

Se han identificado tres grandes causas de los enormes volúmenes de residuos sólidos que entran a los sistemas de desagüe y cuerpos de agua: la primera es la falta de políticas públicas para reducir la generación de residuos sólidos, como sería la promoción de envases retornables, empaques mínimos; la segunda, la falta de capacidades por parte de los gobiernos municipales para la gestión de sus residuos sólidos; la tercera, la falta de concientización de la población para lograr el buen manejo de residuos sólidos a nivel doméstico y personal.

La basura es el contaminante típico producido de manera individual, familiar y colectiva en una población. La falta de políticas para reducir la generación de residuos sólidos, junto con deficiencias de la gestión municipal en materia de servicios públicos de recolección y acopio de la basura, así como las prácticas habituales de la población para disponer de los residuos sólidos, generan un problema crónico de contaminación de los cuerpos de agua.

Los efectos de la contaminación no recaen de manera directa sobre el generador de la basura, sino que el efecto impacta de manera indirecta en toda la sociedad. Los cuerpos de agua son los mayormente afectados por la conducta humana.

Los residuos sólidos contribuyen al taponeo y azolvamiento de los cauces y cuerpos de agua. Este tipo de contaminación está estrechamente vinculado con aspectos culturales y educativos, y está enraizado en el comportamiento de una mala disposición de la basura, puesto que en muy contadas ocasiones las personas se cercioran de ubicarla donde su manejo es más seguro y menos contaminante para los ríos, las redes de alcantarillado y los cuerpos receptores de agua residual.

En este contexto, será necesario realizar un esfuerzo amplio de coordinación interinstitucional con entidades de los tres órdenes de gobierno, así como la concertación con todas las organizaciones sociales interesadas y con capacidad de contribuir a la limpieza de los arroyos y ríos del país, así como con industrias. Mediante la suma de estos recursos y esfuerzos, vigilar y proteger los cauces y zonas federales con el fin de mantenerlos libres de basura, de descargas no controladas y de asentamientos irregulares. La tarea es inmensa tomando en cuenta que la red de ríos y arroyos suma 630 mil km de longitud, y que prácticamente todos tienen algún grado de contaminación y pasan, en su recorrido, cerca o a través de zonas urbanas. Por estas razones se han priorizado las siguientes áreas de investigación:

- a) Estudios de selección del público objetivo con capacidad de contribuir a la limpieza de los arroyos y ríos del país, considerando también la formación de sectores sociales dentro de las microcuencas que habiten este espacio público, para cederles moralmente el cuidado y protección de la misma, conjuntamente con la autoridad competente.
- b) Mecanismos y métodos de comunicación, alternativos y creativos, para divulgar eficientemente las acciones que conlleven a mantener los cuerpos de aguas superficiales libres de basura, incluyendo el uso de tecnologías de la informática y comunicación.
- c) Evaluación del diseño de un sistema de incentivos que permita valorizar los residuos sólidos y su eventual reincorporación productiva a través del reciclamiento, con lo cual se reduciría su disposición inadecuada en los cuerpos de agua.
- d) Metodología colaborativa y de participación social para limpiar y mantener libre de basura los cauces de ríos y vasos de lagos.
- e) Vigilancia tecnológica de las buenas prácticas en el tema de ríos limpios.

- f) Ciclo de vida y empaque del producto para minimización de los desechos (análisis de la basura).
- g) Planificación prospectiva de las ciudades.
- h) Investigación básica en materiales biodegradables de insumos de uso común en la sociedad.
- i) Sistemas robustos para planeación y toma de decisiones en comunidades.
- j) Estudios sobre empoderamiento de grupos sociales y de género para impulsar el conocimiento y las acciones necesarias para mantener limpios los cuerpos de agua.
- k) Mecanismos de reúso y/o de megaproducción de residuos sólidos.

2.5 Línea de Investigación: Control de fuentes de contaminación difusa

Hay un vínculo entre las funciones del suelo y la vulnerabilidad de las aguas subterráneas y superficiales; por ejemplo, el uso actual de las tierras, aunado a un clima que cambia, incrementa el potencial de fugas, erosión y contaminación en el suelo. El flujo de materia resultante afecta por igual a las aguas subterráneas y a las superficiales. Un problema sin resolver es la cantidad y calidad del flujo de materia entre las distintas fases del suelo y los distintos cuerpos de agua. Existe coincidencia al considerar que la cuantificación de las tasas de intercambio es crucial para el entendimiento y la determinación de los equilibrios de flujos de masa en nuestras captaciones.

Por su contribución a la contaminación difusa, es importante considerar aquella producida por el sector agrícola y pecuario, incluyendo a las diversas agroindustrias. Este sector es uno de los principales usuarios de aguas nacionales y el mayor contaminador del agua en forma directa. También, es responsable de producir y aportar altas cargas orgánicas, inorgánicas y de patógenos a los cuerpos de aguas superficiales, sin que hasta ahora se hayan desarrollado mecanismos de control –normativos, técnicos, incentivos económicos, pago de cuotas o tarifas por uso de agua (lo que se paga, en todo caso, por el servicio de agua)– por descargas de aguas residuales y/o vertido de contaminantes específicos, que aseguren en el mediano y largo plazos una contribución del sector agropecuario a lograr ríos limpios y sanos. El sector agropecuario es, además, uno de los principales contribuyentes de metano a la atmósfera, impactando el clima mundial. Especial atención se debe tener en el manejo y control de fertilizantes, pesticidas y otros contaminantes hacia cuerpos de agua y mantos acuíferos. El uso de aguas residuales crudas debe ser prohibido para el riego de cualquier tipo de cultivo. El uso de agua residual tratada para ciertos tipos de cultivos, sean éstos de riego o de temporal, debe ser analizado, supervisado y promovido como una alternativa de reutilización del agua y conservación del recurso.

Por estos motivos, se ha considerado que los siguientes aspectos de investigación y desarrollo tecnológico deben ser contemplados:

- a) Ordenamiento territorial para evitar asentamientos irregulares, considerando la clasificación de los suelos para el desarrollo urbano.
- b) Desarrollar investigación que permita diseñar protocolos para analizar los vertidos y establecer normas oficiales mexicanas (NOM) y normas no obligatorias (NMX) para controlar el vertido de sustancias a los cuerpos receptores y de agua, e identificar la contaminación puntual y los contaminantes emergentes, compuestos y sustancias químicas tóxicas, para reglamentar jurídicamente su manejo y vertido a cuerpos de agua.
- c) Desarrollar una normativa específica para la evaluación, monitoreo y control de la contaminación difusa.
- d) Métodos, técnicas y equipos o infraestructura de medición que permitan determinar de una manera confiable y económica la concentración de parámetros de la calidad del agua de la contaminación difusa, incluyendo parámetros de calidad del agua persistentes y emergentes, así como metales pesados y la salinización.
- e) Caracterización de la calidad del agua de áreas geográficas indicativas de la contaminación difusa en las regiones hidrológicas, tomando en cuenta la pertinencia de los parámetros actuales y de los propuestos de la contaminación difusa.
- f) Estudios de ecohidrología en donde se destaque la evaluación de la capacidad de asimilación de cargas por los cuerpos de agua utilizando bioindicadores.
- g) Rastreabilidad de la basura, sustancias químicas y aceites.
- h) Medidas predictivas, preventivas, correctivas y de remediación de los ríos y cuerpos de agua superficiales.
- i) Desarrollo, adaptación y transferencia de metodologías y modelos de simulación de calidad del agua y contaminación difusa.
- j) Aprovechamiento de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (CDM, por sus siglas en inglés) para mitigar los gases de efecto invernadero y reducir las descargas de desechos animales.

2.6 Línea de Investigación: Valoración de impactos de la contaminación en cuerpos de agua

Medir los efectos e impactos de las actividades humanas en los cuerpos de agua es el primer paso para entender las causas de la degradación de las actividades económicas y ambientales asociadas al uso del agua en México. El entendimiento de un ecosistema y su

interrelación con las actividades económicas y sociales parten de concebir al agua como un eje transversal del sistema económico vigente.

El recurso hídrico como insumo económico es básico para todas las actividades desarrolladas por la sociedad. Comprender la interrelación entre los usos del agua de las cuencas altas en deterioro de las cuencas bajas, y la desembocadura de las mismas en el océano, nos permite valorar los efectos del mal manejo que se le da al agua.

Sólo se puede controlar lo que se mide, es decir, el desarrollo de políticas públicas e instrumentos de manejo y control del agua principian en un sistema técnico de control y culminan en el entendimiento integral de los efectos económicos, técnicos, sociales y ambientales del uso sistémico (Sistema Nacional de Monitoreo) del agua. Ésta es la principal alternativa para señalar a la sociedad las pérdidas económicas, sociales y ambientales del mal manejo del agua. La valoración económica y ambiental del recurso es el único instrumento reconocido por los tomadores de decisión, en los tres órdenes de gobierno, al momento de desarrollar proyectos de inversión, modificar normas y llevar a cabo ajustes técnicos.

Las áreas de investigación requeridas para desarrollar esta temática son las siguientes:

- a) Valoración social y económica de los impactos de la contaminación en los cuerpos de agua superficiales y subterráneos que coexisten con actividades de desarrollo urbano, pesca, turismo, industria, agricultura y generación de energía eléctrica.
- b) Valoración ambiental de los impactos de la contaminación en los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, considerando la biodiversidad, el caudal ecológico y los servicios ambientales que prestan estos cuerpos de agua.
- c) Valoración de la salud pública por los impactos de la contaminación en los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, incluyendo los costos de tratamiento de las enfermedades crónicas, cancerígenas, toxicidad y por bioacumulación de contaminantes.
- d) Categorización de las fuentes de contaminación e inclusión de contaminantes emergentes.

2.7 Línea de Investigación: Fragmentación de ecosistemas por el almacenamiento del agua de los ríos

Un río sano implica todas las variables asociadas a él que generen riqueza, y no solamente el agua como producto o medio. La fragmentación de la cuenca y el cauce de los ríos transforma totalmente el ecosistema, debido a que el flujo de especies migratorias (peces y crustáceos principalmente) se detiene por la barrera física que representa la cortina de la represa (de riego o hidroeléctrica). Esto provoca un empobrecimiento de hábitats y de

especies en la parte alta de las cuencas, en donde estas especies habitaban antes de la construcción de la represa y que, a consecuencia de ella, se extinguen totalmente. Esto ocasiona, entre otras cosas, pobreza de especies que reduce la pesquería y, por tanto, la capacidad de obtención de proteína de excelente calidad, por parte de los pobladores arriba de las cortinas. Además, influye en su capacidad económica debido a que dejan de existir las especies de alto valor nutricional y económico, como son los robalos (*Centropomus sp*) y los langostinos o acamayás (*Macrobrachium spp.*), ambas en la zona tropical de ambos litorales (Golfo y Pacífico).

Por otro lado, el sembrar con especies exóticas las represas (tilapia, carpa, bagre, lobina), genera un nuevo ecosistema en donde no existe más que la depredación y una falta de balance en la producción, debido a la pobreza de especies preadaptadas al medio ambiente regional. De tal manera que la producción disminuye notablemente cuando se encuentran sólo dos o tres especies, y muchas veces éstas son carnívoras o herbívoras y terminan con el resto de las especies nativas que se encuentran en los embalses, debido a una creciente competencia por el hábitat. El desempeño de las escaleras o pasos en especies donde se ha llevado este trabajo tecnológico –en Brasil y otros países de Sudamérica, Norteamérica y Europa–, nos indica claramente que la falta de visión de los ingenieros y biólogos mexicanos ha llevado a las especies nativas a una exclusión de las cuencas, al no prever y permitir que con escaleras o pasos el ecosistema se vea menos dañado que lo que actualmente se encuentra con la misma construcción de la represa.

Las líneas de investigación requeridas para desarrollar esta temática son:

- a) Investigar, diseñar e implementar las normas que permitan reglamentar la obligación de mantener el caudal ecológico en ríos, lagos y cuerpos de agua en general, para proteger la fauna y flora y sus ciclos de reproducción.
- b) Evaluar de una manera multidisciplinaria el impacto en la cuenca y su productividad antes y después de la construcción de la cortina, establecimiento de los récords históricos de producción, captura y bienestar de la población.
- c) Identificación, evaluación y mapeo de las especies que se encontraban en la cuenca antes de la construcción de la cortina y sus relaciones tróficas con los miembros de la cadena productiva antes y después.
- d) Evaluación de cómo han cambiado los hábitos alimenticios de las poblaciones humanas ribereñas, por la falta de las especies migratorias que hoy no llegan debido a la construcción de las barreras infranqueables.
- e) Determinar qué tipo de escalera puede lograr restablecer, de una manera eficiente y no discriminatoria, el flujo migratorio de las especies acuáticas a la parte alta de la cuenca en cada caso.

- f) Evaluar el impacto de las especies migratorias, herbívoras y carnívoras, sobre las especies exóticas en las represas, una vez restablecido el flujo migratorio para determinar la productividad del ecosistema y la pesquería en particular, tanto en biomasa como en términos económicos, pues las especies migratorias poseen muchas veces mayor valor que las exóticas.
- g) Evaluar el impacto en la nutrición de las familias que viven en la parte alta de la cuenca, cuando el flujo de especies migratorias se restablezca, y determinar el incremento en su estatus socioeconómico, al poseer especies de alto valor nutritivo y comercial a su alcance.
- h) Evaluar el flujo estacional de las especies migratorias en las escaleras o accesos artificiales a los embalses, para establecer las modificaciones pertinentes, de tal manera que la migración sea considerada de alta eficiencia y, con ello, restablecer un ecosistema más saludable con derrama económica a la población ribereña de la parte media y alta de la cuenca.
- i) Evaluar el desempeño de la pesca artesanal sobre una o dos especies exóticas (monoespecífica) contra el desempeño de las especies nativas que actuarán muchas veces como depredadores, permitiendo el incremento de la producción en una pesca multiespecífica con especies de mayor valor en el mercado local y nacional (tilapias y carpas vs. robalos y acamayás).
- j) Determinar los mecanismos de migración para cada una de las especies, así como las temporadas de máxima migración, de tal manera que se conozcan las horas del día, la temporalidad y su relación con los ciclos lunares, solares y estacionales para diseñar con efectividad las escaleras o pasos migratorios.

3. COBERTURA UNIVERSAL

En México, el Artículo 115 constitucional faculta a los municipios a prestar los servicios públicos de suministro de agua potable y saneamiento. Debido a la gran diversidad geográfica, territorial, poblacional y económica, cada municipio y, por ende, cada proveedor de servicios de agua potable y saneamiento enfrentan retos y situaciones particulares que afectan la gestión y calidad de estos servicios. Este asunto se complica aún más por la diversidad de figuras jurídico-administrativas que adoptan los estados o municipios para la prestación de los servicios, pues en algunos casos éstos son proporcionados a nivel estatal, como es el caso de Nuevo León, o por concesionarios privados, como en Cancún, Saltillo o Aguascalientes.

Conforme a las cifras de la CONAGUA, la cobertura promedio actual de agua potable en el país es de 91.1%, la de alcantarillado de 83.86% y se trata alrededor de 42% de las aguas

colectadas en el drenaje urbano (estimaciones de la CONAGUA a 2010). Eso significa que alrededor de 10 millones de personas no tienen acceso a agua potable, la mayoría en las zonas rurales, y aproximadamente 14 millones no tienen acceso a alcantarillado en zonas urbanas. No obstante, muchas zonas no reciben regularmente el servicio ni tampoco con la calidad deseada. Especialmente, tandeos e infraestructura vieja generan nuevos problemas de contaminación.

En virtud de lo anterior, el objetivo es establecer las líneas generales de investigación bajo una visión integral, multidisciplinaria y con perspectiva de género, mediante las cuales se encuentren soluciones para mejorar la prestación de servicios de agua, alcantarillado y saneamiento a la ciudadanía.

Dentro de la cobertura universal, existen líneas de investigación generales que son comunes a los subtemas del sector y que a continuación se describen:

En materia de disponibilidad:

- Estudio de disponibilidad de agua para localidades rurales y centros urbanos y suburbanos.
- Análisis de calidad del agua para consumo humano bajo condiciones de cambio climático.
- Identificación de la huella hídrica de cada entidad para establecer el potencial ecológico y definir acciones de mejora.

En materia de desarrollo tecnológico:

- Desarrollo de tecnologías innovadoras para la prestación más eficiente de servicios de agua potable y saneamiento.
- Desarrollo y adaptación de tecnologías de desalación como opción para abastecimiento en regiones con baja disponibilidad.

En materia jurídica, análisis social y establecimiento de políticas:

- Análisis de conflictos sociales por el acceso al agua potable y al saneamiento, así como el desarrollo de mecanismos de conciliación y resolución.
- Análisis de los obstáculos para una eficaz coordinación institucional entre los diferentes órganos de gobierno que concurren en la prestación de servicios públicos relacionados con el agua.
- Estudio de los marcos jurídicos y normativa técnica de los servicios públicos de agua y saneamiento.

- Análisis de las políticas nacionales y estatales de cobertura y abastecimiento de agua potable y saneamiento con una perspectiva de género (el agua limpia fue declarada en octubre 2011 un derecho humano básico en el Senado y hubo un cambio constitucional).

En materia de formación de recursos humanos:

- Las líneas de investigación se presentan en la sección de Formación de Recursos Humanos (Reto 8).

Específicamente, para el desarrollo de la Agenda del Agua 2030, se identificaron tres líneas de investigación por temática:

- A. Suburbios urbanos conectados a redes.
- B. Localidades rurales con agua potable.
- C. Organismos operadores funcionando eficientemente.

3.1 Línea de Investigación: Suburbios urbanos conectados a redes

Con la finalidad de alcanzar la cobertura universal en materia de agua y drenaje sanitario, es necesario crear infraestructura o mejorar la existente para llevar ambos servicios a las zonas periurbanas (marginadas), en donde para el año 2018 se ubicarán 9 millones de habitantes sin agua potable y casi 20 millones que no contarán con el servicio de drenaje sanitario. Esas metas son indispensables para contribuir a la dignificación de la vivienda en México, por lo que es obligación del Estado y la sociedad enfrentar este reto de manera urgente, así como construir una sociedad más justa, más competitiva y más saludable. En términos de salud, es más barato sanear las aguas que tratar a los enfermos.

Muchas de las colonias suburbanas, que no cuentan con redes de agua potable ni alcantarillado, fueron formadas a través de la invasión de áreas designadas como "no urbanizables" por los instrumentos de planeación territorial; gran cantidad de ellas se encuentran en áreas naturales protegidas y suelos de conservación. La extensión de líneas de agua, luz y alcantarillado a estas áreas viola la institucionalidad actual y contribuye al fenómeno de expansión urbana no sostenible.

Esas áreas podrían beneficiarse de la adopción de ecotecias que permitan la captación, almacenamiento y aprovechamiento de aguas pluviales; la separación, tratamiento y reúso del aguas grises; y la reducción al mínimo de los volúmenes de agua utilizada para el manejo de orines y heces.

La limitante financiera para cumplir con estas metas obliga a generar líneas de investigación cuyos productos auxilien a que los objetivos planteados se alcancen

mediante nuevas o mejores herramientas técnicas, que sean eficaces y económicas y, además, incidan en mejorar la calidad de los servicios a la sociedad en cantidad, calidad y continuidad. Asimismo, deben desarrollarse instrumentos jurídicos y socioeconómicos que faciliten la gobernanza en el sector agua y se abone a su sostenibilidad.

Las áreas de investigación requeridas para desarrollar esta temática son las siguientes:

- a) Diseño, prueba y difusión de tecnologías apropiadas para el manejo del agua a nivel doméstico y comunitario en zonas suburbanas.
- b) Estudios costo-beneficio, incluyendo factores ambientales, sociales y económicos, para el diseño de sistemas sostenibles de abastecimiento de agua a poblaciones que actualmente carecen del recurso.
- c) Difusión, desarrollo y adaptación de tecnologías de vanguardia para el uso y reúso del agua en la prestación de servicios de agua potable y drenaje.
- d) Percepción social de las problemáticas locales y regionales de agua potable y saneamiento.
- e) Análisis y redireccionamiento de las políticas nacionales y estatales de cobertura y abastecimiento de agua potable y saneamiento, incluyendo el derecho humano al agua, la perspectiva de género y la factibilidad de financiamiento.
- f) Factibilidad de servicios de agua potable y drenaje en centros urbanos y suburbanos, para evaluar la capacidad del recurso hídrico y la infraestructura hidráulica.
- g) Patrones de consumo y estilos de vida en zonas urbanas relacionadas con el uso del agua.
- h) Estudio de las dinámicas de crecimiento poblacional, de la formación de asentamientos irregulares y de los procesos de inclusión y exclusión de grupos sociales en la formulación de políticas públicas.
- i) Planeación multiobjetivo del desarrollo de comunidades.

3.2 Línea de Investigación: Localidades rurales con agua potable

Con la finalidad de alcanzar la cobertura universal en materia de agua y drenaje sanitario, es necesario crear infraestructura o mejorar la existente, para fomentar sistemas autogestivos basados en la gestión de cuenca, el aprovechamiento de aguas pluviales, el tratamiento y reúso de aguas grises, y la no generación de aguas negras.

Para el año 2010, más de 20 millones no contaron con el servicio de drenaje sanitario formal, y en 2018 se agregarán 7.2 millones de habitantes más en localidades rurales sin agua potable. En este contexto, el consenso de las opiniones de los participantes en el Foro Nacional se centró en la necesidad de realizar análisis de los instrumentos y

componentes que permitan alcanzar la cobertura universal en el corto plazo, como es el caso de proveer con agua potable a las comunidades rurales. Al respecto, las áreas de investigación multidisciplinarias requeridas para desarrollar esta temática son las siguientes:

- a) Diseño de proyectos de gestión de microcuenca y cuenca, para almacenar aguas pluviales, y recuperar y aprovechar manantiales y pozos someros, entre otras estrategias, a fin de garantizar fuentes locales de abastecimiento.
- b) Fuentes alternas de abastecimiento de agua de bajo costo para uso doméstico en zonas rurales.
- c) Patrones de consumo y estilos de vida en comunidades rurales relacionados con el uso del agua.
- d) Desarrollo, adaptación y adopción social de tecnologías sostenibles para captación, potabilización de agua y saneamiento en localidades rurales.
- e) Sistemas para remoción de contaminantes específicos que permitan la potabilización del agua.
- f) Desarrollo de capacidades locales para manejo y gestión del agua potable y drenaje en comunidades rurales y marginadas, incluyendo la perspectiva de género.
- g) Recuperación de los servicios ambientales y pago por servicio otorgados para mejorar los ingresos rurales.
- h) Delineación de políticas nacionales y estatales de cobertura y abastecimiento de agua potable y saneamiento en zonas rurales, incluyendo la instrumentación del recientemente establecido derecho humano al agua, la perspectiva de género y la factibilidad de financiamiento.
- i) Ordenamiento territorial en función de las disponibilidades de agua.
- j) Usos sociales del agua en comunidades rurales y estrategias de abastecimiento comunitario, local y regional.

3.3 Línea de Investigación: Organismos operadores funcionando eficientemente

Al menos, una parte de las deficiencias en cobertura se relacionan con las condiciones particulares de orden administrativo, financiero y técnico, bajo las cuales funcionan los organismos operadores: alta rotación de directivos no siempre capacitados; tarifas inadecuadas; bajos niveles de cobranza; baja eficiencia física, comercial y global; baja calidad en la prestación de los servicios; deficiente cultura del agua entre los usuarios, que conduce a excesivos consumos; y la escasez de recursos humanos calificados.

De una muestra de 100 organismos operadores, en la que muy probablemente se encuentren los mejores, el IMTA ha determinado que la eficiencia física en promedio es de 58.6% y, la global, de 40.87%. Es decir que del agua extraída de las fuentes de abastecimiento, se pierde 41.4% y también se pierde o no se cobra 59.13%.

Gran parte de la ineficiencia de los sistemas actuales de agua potable, saneamiento y alcantarillado, se debe al marco constitucional y al funcionamiento de los organismos operadores. La legislación actual dicta que los directores generales de éstos, así como los miembros de sus consejos de Administración, sean designados por el presidente municipal en turno. Este hecho se encuentra a la raíz del uso político y personal de los recursos del organismo operador, la falta de eficiencia y de planeación a largo plazo, las altas tasas de rotación de personal y la ejecución de obras que favorecen sólo a una parte de la población. Falta el planteamiento y la fundamentación de propuestas para despolitizar esta importante función pública, a través de la elección de representantes zonales y sectoriales para el Consejo de Administración, como ha funcionado exitosamente en otros países del mundo.

Las bajas tarifas del servicio de agua en zonas residenciales, con acceso casi ilimitado al recurso hídrico, provocan que los usuarios no utilicen de manera racional el recurso, mientras que la severa escasez que predomina en las inmensas zonas de pobladores con pocos recursos, implica que ellos dependan de la compra de agua vía pipas o garrafón a precios exorbitantes.

Por tales motivos, el funcionamiento eficiente de los organismos operadores se convierte en uno de los retos principales para lograr la cobertura universal de agua potable y saneamiento con calidad.

Las áreas de investigación requeridas para desarrollar esta temática son las siguientes:

- a) Aspectos jurídicos y administrativos de la prestación de servicios de agua potable y saneamiento y estudios sobre esquemas metropolitanos de prestación de servicios de agua potable y saneamiento que permitan eficientar, transparentar y despolitizar a los organismos operadores.
- b) Análisis y desarrollo de metodologías y herramientas para mejorar las prácticas administrativas (comerciales, contables y financieras) de los organismos operadores y prestadores de servicios del agua.
- c) Análisis de esquemas de financiamiento de servicios de agua potable y saneamiento y criterios para el establecimiento de tarifas.
- d) Mecanismos de responsabilización, representación y participación social y rendición de cuentas en la gestión de los servicios de agua potable y saneamiento.

- e) Esquemas de capacitación, certificación y profesionalización del personal técnico de organismos operadores.
- f) Diseño de modelos eficaces de gestión hídrica sostenible para cuencas urbanizadas.
- g) Desarrollo, implementación y transferencia de metodologías y modelos de simulación de análisis hidráulico y calidad del agua, modelos numéricos de diseño de redes de distribución de agua potable y drenaje sanitario y pluvial, fenómenos transitorios, detección de fugas y selección del tipo de macro y micromedidores.
- h) Estudios sobre gobernanza del agua y organismos operadores de agua potable y prestadores de servicio de agua.

4. ASENTAMIENTOS SEGUROS FRENTE A INUNDACIONES CATASTRÓFICAS

Procesos acelerados de crecimiento urbano, sin comprensión o respeto por el funcionamiento hidrológico de las cuencas en donde se ubican, están resultando en fenómenos crónicos de inundación en las grandes ciudades de México, expuestas al paso y efectos de ciclones: Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Puebla, Toluca, Mérida, Tampico, Acapulco, Veracruz y Tabasco.

Esta situación se vuelve aún más crítica debido a las alteraciones en los patrones de precipitación por el cambio climático. Adicionalmente, existen zonas rurales vulnerables a inundaciones debido al desbordamiento de ríos y operación de presas, que ponen en riesgo a las poblaciones rurales, con escasa o nula comunicación para conocer estos eventos y auxiliarlas oportunamente. Existe una falta general de ordenamiento urbano, territorial y ambiental.

En esta temática, el análisis se abocó a identificar las áreas estratégicas de investigación que permiten abatir la vulnerabilidad de los asentamientos humanos frente a inundaciones catastróficas, considerando el cambio climático y el ordenamiento territorial. Como resultado se generaron tres líneas de investigación prioritarias:

- A. Retención de aguas pluviales en cuenca alta y media.
- B. Ordenamiento territorial eficaz y zonas inundables o de alto riesgo por deslizamientos libres de asentamientos humanos.
- C. Sistemas de alerta y prevención con tecnologías de punta.

4.1 Línea de Investigación: Retención de aguas pluviales en cuenca alta y media

En cuencas como la del Valle de México, enormes volúmenes de lluvia, que podrían haber sido retenidos, aprovechados o infiltrados en cuenca alta y media, llegan torrencialmente hasta las zonas urbanas de cuenca baja, en donde entran en acción los sistemas diseñados para la captura y desalojo de aguas residuales. Es interesante notar que el mantenimiento de presas, represas, terrazas y otras obras de retención, han formado una parte importante de las estrategias de gestión hídrica en las cuencas del país, desde los tiempos prehispánicos hasta la historia reciente (los años 70). Sin embargo, en las últimas décadas, las inversiones han priorizado el entubamiento de ríos y la construcción de túneles y plantas de bombeo, dejando las obras de retención en cuenca alta en un estado de abandono.

Es por ese motivo que la retención de aguas pluviales en cuenca alta y media no sólo representa una vital estrategia para la prevención de inundaciones, sino que permitirá una mejor utilización de la infraestructura hidráulica de las zonas urbanas en cuenca baja, y será vital para el buen funcionamiento de sus plantas de tratamiento.

Se recomiendan las siguientes líneas de estudio y propuesta:

- a) Diseño de programas para fomentar la retención de suelos y agua en cuenca alta y media.
- b) La realización de estudios de costo-beneficio para demostrar las ventajas hídricas, ambientales, económicas y de protección civil, de proyectos basados en la retención de aguas pluviales en cuenca alta y media, en contraste con el costo y riesgo asociado con su recepción, manejo y desalojo de zonas urbanas en cuenca baja.

4.2 Línea de Investigación: Ordenamiento territorial eficaz y zonas inundables o de alto riesgo por deslizamientos libres de asentamientos humanos

Los desafíos para evitar inundaciones están lejos de ser alcanzados. Falta el desarrollo e implementación de sistemas adecuados de infraestructura para el control de avenidas, con su correspondiente gobernanza, manejo y financiamiento de estructuras, que aseguren el desalojo y desvío de los excedentes pluviales y que permitan reducir el riesgo de inundación en las megaurbanas aglomeraciones. También hacen falta planes efectivos de contingencia que permitan la evacuación de los habitantes, al mismo tiempo que se asegure el resguardo de los bienes.

Los problemas de inundación que enfrentamos en las megaciudades no pueden ser resueltos sin la intervención del ordenamiento territorial que asimile la perspectiva del metabolismo de la aglomeración urbana y sus alrededores, incluyendo los vínculos directos de la reubicación de asentamientos humanos expuestos a los riesgos de inundación. Por lo mismo, las áreas prioritarias de investigación consisten en generar la planeación territorial de forma integral, considerando aspectos sociales, técnicos y jurídicos, en donde el replanteamiento de planes urbanos incluya sinergias entre el ordenamiento territorial y el ecológico. Tales áreas de investigación son:

- a) Generar mecanismos para la aplicación estricta de la ley, normas y reglamentos vigentes, para impedir asentamientos humanos en zonas de riesgo.
- b) Revisión, análisis y actualización de normas, reglamentos y legislación vigente en materia de ordenamiento territorial.
- c) Mecanismos que permitan y promuevan la articulación y convergencia en los diferentes órdenes de gobierno.
- d) Mecanismos para la utilización de recursos financieros y transparencia de las finanzas públicas en los tres órdenes de gobierno.
- e) Regionalización de áreas que tomen en cuenta el tejido social, identidad, vulnerabilidad socioambiental y cultura, así como la percepción social del riesgo y etnohidrología.
- f) Actualización y complementación de mapas regionales, metropolitanos, urbanos y rurales, utilizando sistemas de información geográfica con datos confiables y validados, considerando la estandarización de variables y unidades.
- g) Generación y actualización de atlas de riesgos hidrometeorológicos: inundaciones y deslaves, recurrentes y para períodos de retorno estándares y escalas de tiempo acordes con el cambio climático.
- h) Lineamientos de construcción de vivienda acordes a la zona de riesgo, tomando en cuenta técnicas innovadoras, como casas flotantes y manejo de taludes.
- i) Asimilación de la experiencia local en inundaciones históricas y su uso en modelos de predicción, entre otros.
- j) Metodologías para la evaluación de daños por inundaciones.
- k) Metodologías para desarrollar plan de manejo integral de cuencas, incluyendo monitoreo hidrometeorológico, planes de contingencia, seguimiento, reforestación y obras hidráulicas.
- l) Estudios y proyectos de vulnerabilidad socioambiental y creación de índices, bases de datos y estudios de caso con lineamientos de política pública.

4.3 Línea de Investigación: Sistemas de alerta y prevención con tecnología de punta

El 4º Reporte de Evaluación y, sobre todo, el Reporte Especial sobre Eventos Extremos (SREX, 2012) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) muestran que la presencia del cambio climático no sólo impacta en los patrones de precipitación, sino también el número y severidad de eventos extremos, poniendo a la población humana, a sus propiedades y a los paisajes mismos en riesgo de inundación.

La investigación sobre el clima es capaz de predecir valores medios globales, pero la derivación de los patrones regionales desagregados y la determinación de la probabilidad de eventos extremos que generen inundaciones son mucho más difíciles. Para ello se requiere del monitoreo focalizado, aunado a la creación de modelos avanzados de inundación con asimilación de datos. Hay una necesidad apremiante de predecir los eventos de inundación para alertar a los habitantes expuestos al riesgo y contar con medidas de contingencia.

Los riesgos de inundación no son simplemente fenómenos naturales; son factores cruciales que afectan el bienestar y la prosperidad económica de las personas. También determinan la vulnerabilidad de la gente y, en especial, a las mujeres jefas de hogar. Lo que se requiere, entonces, es un análisis amplio de los factores que determinan los peligros de inundación y la exposición de los asentamientos humanos y sociedades ante este peligro, así como también el análisis de capacidades para sobrellevar en el futuro los efectos adversos relacionados con las inundaciones. En tal contexto, las áreas de investigación prioritarias que se contemplan, son las siguientes:

- a) Modelos atmosféricos, de lluvia-escorrentía, de cuenca y tránsito de avenidas, incluyendo transporte de sedimentos e inundación costera, es decir, modelación hidrológica de cuencas.
- b) Mapas de riesgo de inundación, incluyendo las zonas costeras, que tomen en cuenta la exposición y la vulnerabilidad social de la población.
- c) Programa permanente de configuración del territorio nacional con modelos digitales de elevación a mayor detalle cada vez, por microcuencas, con actualizaciones periódicas.
- d) Modernización, diseño y operación eficiente de redes hidrometeorológicas para el pronóstico y el manejo de inundaciones en cuencas y zonas costeras.
- e) Desarrollo, estandarización y validación de bases de datos hidrometeorológicos, uso de suelo, elevación del terreno, sedimentos.
- f) Diseño innovador de infraestructura para la prevención, control y mitigación de inundaciones incluyendo vías de comunicación con un enfoque multidisciplinario.

- g) Sistemas de alerta que incluyan manejo de presas ante avenidas, definición de niveles de riesgo y difusión de la información hidrometeorológica.
- h) Mecanismos de articulación y convergencia en los diferentes órdenes de gobierno e interinstitucionales.
- i) Consensos de escenarios de cambio climático.
- j) Acciones de adaptación al cambio climático en materia de inundaciones.
- k) Generación de normas y reglamentos para la aplicación efectiva de las medidas de alerta.
- l) Gobernanza y gestión de riesgo en la prevención, manejo y mitigación de inundaciones: educación, comunicación, divulgación, difusión, participación, simulacros, generación de resiliencia, mecanismos intercomunitarios de alerta y prevención.
- m) Mecanismos para la utilización de recursos financieros y transparencia de las finanzas públicas en los tres órdenes de gobierno.
- n) Diseño de algoritmos computacionales como apoyo a la toma de decisiones en esquemas de alerta temprana.

5. SEQUÍAS

Los problemas resultantes de la escasez de agua se viven en la zona árida del norte del territorio nacional. En esa ubicación, al mismo tiempo, se genera una gran demanda del recurso hídrico para riego agrícola, doméstico y generación de energía. La escasez del agua, además de limitar el desarrollo económico, también genera problemas de abastecimiento de agua, del tratamiento de aguas residuales, de transportación, impactos en el turismo y en el sector energético.

En las zonas donde hay escasez de agua, su demanda es satisfecha con volúmenes de agua no sostenible proveniente de los mantos subterráneos –muchos de ellos constituidos con aguas fósiles–, situación que ha generado la sobreexplotación de los acuíferos. Por ello, se hace indispensable aplicar nuevas tecnologías eficientes y ahorradoras de agua en todos los sectores, así como también considerar la alternativa del transporte de agua a través del comercio de agua virtual para compensar el abasto de agua a largo plazo. Asimismo, se requiere reestructurar las actividades económicas de las regiones expuestas a las sequías para disminuir la demanda del agua en el uso de riego agrícola y doméstico. Por ejemplo, la generación de energía eléctrica a través de la energía solar es una buena medida de desarrollo económico en la zona árida del norte de México, toda vez que cuentan con abundante radiación solar. También, especial cuidado debería darse al manejo del suelo y

la recuperación de ecosistemas deteriorados para incrementar la infiltración de agua pluvial.

La diversidad y complejidad de los problemas de las sequías es un claro llamado a los programas de investigación para atender el reto de la sostenibilidad de los recursos hídricos, económicos y ecológicos. Por lo tanto, se han identificado y priorizado las siguientes áreas de investigación:

- a) Regionalización de áreas que tomen en cuenta el tejido social, identidad, vulnerabilidad socioambiental y cultura, así como la percepción social del riesgo y etnohidrología.
- b) Ordenamiento territorial para minimizar asentamientos humanos en zonas de riesgo de sequías.
- c) Estudios de factibilidad para la generación de energía eléctrica a partir de energía solar, eólica y marítima en la zona costera, como medida para diversificar el desarrollo económico de las zonas de riesgo de sequías y relajar la presión por el recurso hídrico para riego agrícola y doméstico.
- d) Estudios sobre comercio de agua virtual como fuente de abastecimiento de agua a largo plazo.
- e) Desalación (agua de mar y agua salobre) como opción para abastecimiento de agua, considerada esta opción después de la evaluación de sus implicaciones ambientales.
- f) Lineamientos de construcción de vivienda acordes a la zona de riesgo, considerando técnicas innovadoras como captación y almacenamiento de agua de lluvia, tratamiento y reúso.
- g) Generación de planos y diagnósticos en tiempo real de la sequía mediante telemetría, así como la actualización de atlas de riesgos de sequías recurrentes, para períodos de retorno estándares y escalas de tiempo acordes con el cambio climático.
- h) Asimilación de la experiencia local en sequías históricas y su uso en modelos de predicción, así como en el uso de la dendrocronología en el análisis de las sequías históricas.
- i) Metodologías para la evaluación de daños por sequías, considerando sistemas de información geográfica, satelital.
- j) Acciones de adaptación al cambio climático en materia de sequías.
- k) Vinculación sequía-inundación con iniciativas como ciudad y vivienda sostenible.
- l) Gobernanza y gestión de riesgo en la prevención, manejo y mitigación de sequías: educación, comunicación, divulgación, difusión, participación, simulacros, generación de resiliencia.

- m) Mecanismos para la utilización de recursos financieros y transparencia de las finanzas públicas en los tres órdenes de gobierno.
- n) Mecanismos para la articulación y la convergencia entre los diferentes órdenes de gobierno e interinstitucionales.
- o) Modelos de predicción climática enfocados a observar los períodos de sequía con eventos que apoyen la predicción en magnitud y frecuencia.
- p) Estudios sobre la vocación ecológica alternativa para las regiones con déficit hídrico, que permiten recuperar servicios ambientales cruciales.
- q) Estudios sobre cambios en patrones de cultivo en los distritos de riego del norte del país.
- r) Esquemas de incremento en la eficiencia global en las disponibilidades de agua en las presas.
- s) Valoración económica de especies alternativas en zonas áridas.
- t) Desarrollo e implementación de técnicas de hidroponía.
- u) Estudios sobre percepción social de la sequía y desarrollo de lineamientos de política.

6. MONITOREO E INSTRUMENTACIÓN

Un sistema a largo plazo, en apoyo a las líneas de investigación en materia de agua, orientado al monitoreo y desarrollo de la instrumentación, es fundamental para el desarrollo de soluciones sostenibles del manejo de agua en los sistemas hídricos complejos de nuestro país. La perspectiva a largo plazo es crucial para tomar en cuenta la inercia del sistema y los mecanismos de regeneración. El monitoreo proporcionará no sólo información del manejo del recurso hídrico, sino que también proveerá las bases para simular el funcionamiento hídrico por medio de modelos de predicción. Además del monitoreo e instrumentación a largo plazo, es necesaria la dimensión espacial del procesamiento y exploración de información, es decir, se necesita de métodos que nos permitan generar sistemas de entendimiento en un marco muy breve, que pueda ser usado en muchos lugares y que nos dejará generar sistemas de comprensión de grandes áreas relevantes para la dirección de líneas de investigación del agua. Sólo la combinación de los tres aspectos podrá proporcionarnos el sistema de comprensión que requerimos. En este contexto se han identificado tres líneas de investigación prioritarias:

- A. Sistemas, redes de monitoreo y bancos de información.
- B. Procesamiento y análisis de la información.
- C. Instrumentación para la medición hidrológica.

6.1 Línea de Investigación: Sistemas, redes de monitoreo y bancos de información

Hasta ahora, existe un número muy pequeño de observatorios y programas de monitoreo de largo plazo, y la mayoría de ellos abarcan únicamente un sector de investigación del agua –v. gr., agua superficial, agua subterránea. A fin de evaluar el impacto nacional en la cantidad y cualidad de los recursos hídricos, se requiere de observatorios a multiescala y multidisciplinarios que también puedan servir como un sistema de alerta temprano para los ecosistemas que alcancen umbrales críticos. Estos observatorios deberían ser diseñados con un claro objetivo científico y puestos en práctica de un modo operativo fácil y flexible, en donde también se incluyan tecnologías de sensores.

Por lo anterior, necesitamos desarrollar sistemas de observación y monitoreo que nos permitan vincular el sistema real a través de múltiples disciplinas ambientales. Para ello se requiere enfocar la investigación en las siguientes áreas prioritarias:

- a) Instalación e incremento de cobertura de redes de monitoreo ambiental, incluyendo las redes meteorológicas y las redes de medición hidrométrica y calidad del agua.
- b) Estandarización de redes de monitoreo: base de datos, indicadores, procesos, métodos y parámetros de medición.
- c) Divulgación de la información monitoreada, con acceso público.
- d) Diseño de centros de información con bancos de datos para la GICRH y mapas interactivos al alcance de todos los ciudadanos.
- e) Generar bases de datos espaciales y temporales, considerando actualizaciones de las bases de datos del REPDA, BANDAS, entre otras.
- f) Aplicar la hidroinformática prospectiva.
- g) Desarrollo de observatorios ciudadanos del agua por cuenca en apoyo a la GICRH.

6.2 Línea de Investigación: Procesamiento y análisis de la información

Persiste un hueco significativo de conocimiento entre la comprensión del proceso teórico y la descripción del sistema en estudios de campo. Es necesaria una nueva generación de exploraciones de información que nos permitan verificar y validar conceptos, observar y analizar respuestas de sistema complejos, así como unir las observaciones hechas con las realizadas en otras disciplinas. Además, se tiene que adquirir la capacidad para manipular parcialmente las variables y poder identificar respuestas específicas de los sistemas y sus causas.

Gracias al monitoreo de alta resolución y las tecnologías remotas sensibles, están disponibles enormes cantidades de datos para la caracterización de los sistemas

ambientales. A fin de manejar de manera eficiente estos datos para generar nuevos conceptos de GICRH, procesamiento de datos e instrumentos de interfaces, así como una integración de datos y métodos de asimilación, necesitan ser desarrollados los siguientes aspectos de investigación:

- a) Diagnóstico de la infraestructura de información en las instituciones de investigación y gestión en materia de agua en México.
- b) Desarrollo de técnicas de manejo de datos para la recepción, revisión de la calidad y almacenamiento de datos automatizados.
- c) Formación de especialistas capaces de generar mapas y pronósticos por recepción remota.
- d) Desarrollo de técnicas de búsqueda y adquisición automatizada de datos disponibles en la Internet.
- e) Implementación de medidas para la disposición gratuita de datos, en tiempo y forma, de proyectos financiados con recursos públicos, considerando reglas claras con consecuencias adecuadas –v. gr., prohibir más financiamiento.
- f) Desarrollo de técnicas de procesamiento de datos de otras disciplinas que permitan extraer la parte de la información requerida para el manejo de los recursos hídricos.
- g) Desarrollo de técnicas de asimilación de datos para integrar información procedente tanto de observaciones como de simulaciones numéricas, considerando la simultaneidad temporal y espacial de los datos, así como la resolución y exactitud de generación en cada fuente de información.
- h) Desarrollo de técnicas de visualización de datos que permitan manejar la cantidad y heterogeneidad de los datos ambientales.
- i) Desarrollo de algoritmos robustos para el análisis y validación de información para procesos de modelación de procesos.
- j) Desarrollo de modelos de gestión del conocimiento en materia de agua.
- k) Investigaciones históricas y sociales de usos del agua por cuencas, así como sistematización de prácticas adecuadas de manejo y uso del agua y análisis de experiencias de fracaso.

6.3 Línea de Investigación: Instrumentación para la medición hidrológica

En la actualidad existen, en casi la mitad del país, procesos de monitoreo puntual y temporal. Hay observatorios muy especializados y laboratorios puramente cualitativos de medición de los procesos relacionados con el agua. Es urgente una modernización y estandarización de instrumentos, así como la capacitación de personal, planteando en un futuro la continuidad temporal para el monitoreo del reconocimiento de eventos extremos. Adicionalmente, se debe proyectar la necesidad de ayuda al país y basar en ello un nuevo sistema de monitoreo en tiempo real, que nos permita atender las contingencias de inundación y sequía con base en modelos de predicción, utilizando datos de calidad y en tiempo real. La existencia de un Centro Nacional dedicado especialmente a ello,

acortará los tiempos de retraso técnico-espacial en los sistemas de monitoreo y nos pondrá en un nivel predictivo en materia de agua.

Las áreas de investigación requeridas para desarrollar esta temática son las siguientes:

- a) Diagnóstico de la infraestructura actual y requerida para el monitoreo de variables ambientales: agua, aire y suelo.
- b) Análisis y clasificación de las tecnologías empleadas en los instrumentos de medición.
- c) Desarrollo de instrumentos de medición para las variables hidroambientales.
- d) Desarrollo de instrumentación para la medición de descargas, calidad química del agua, a través de una vinculación de la iniciativa privada con universidades e institutos tecnológicos, donde los *kits* juegan un rol crucial en la determinación rápida e *in situ*.
- e) Calibración y cumplimiento con las normativas de los instrumentos de medición fabricados.
- f) Desarrollo de un proyecto para la creación de un Centro Nacional de Instrumentación, si bien en el CONACYT, a través de las redes temáticas, se trabaja en el proyecto sobre Red de Observatorios Ambientales (RENOA).

7. MODELACIÓN PREDICTIVA

El modelado hidrológico se enfrenta a nuevos retos en el contexto del desarrollo de soluciones para el manejo del agua en términos de cantidad y calidad, así como en el contexto del cambio ambiental global. Se necesitan modelos complejos y confiables, ya que los requisitos para las predicciones ahora van más allá del rango de observaciones disponibles en el tiempo y en el espacio, y pueden requerir la incorporación de cambios naturales o antropogénicos sin precedente a las condiciones fronterizas y a los parámetros y la estructura del sistema. Hoy día, la comunidad de las ciencias del agua no tiene las herramientas y experiencia necesarias para producir esta clase de predicciones o proyecciones con el nivel necesario de confianza. Se necesitan modelos hidrológicos, no sólo con mejores capacidades de predicción en alta resolución espacial y con cobertura extensa de área, sino también con el nuevo modelo conceptual y las nuevas estructuras de *software* que van más allá del acoplamiento de modelos. La integración en distintas escalas de todos los procesos hidrológicos, que son relevantes para un problema en particular, será uno de los problemas más difíciles de resolver. Esto sólo puede ser conseguido con un análisis profundo del sistema hidrológico, con la identificación de procesos relevantes y con el establecimiento de nuevos modelos conceptuales y estructuras de *software*.

Los sistemas hidrológicos son de naturaleza multiescala, esto es, son dirigidos por fenómenos a gran escala como los cambios climáticos y del uso de tierras, y por procesos de menor escala, como los sucedidos dentro de la interface de suelo y aguas subterráneas. Un método para el modelado hidrológico que contemple esta diversidad de escalas tiene que cubrir las brechas entre cada una de ellas y mejorar la predictibilidad del modelo respecto de los ciclos del agua, los químicos y la energía a escala regional (por ejemplo, captaciones). Los requisitos de aplicabilidad deben incluir problemas como la disponibilidad de datos, las consideraciones de valores de datos y la cuantificación de incertidumbres. Por lo mismo, se plantean las siguientes líneas de investigación en la materia:

- a) Modelación predictiva de inundaciones.
- b) Modelación predictiva y de diagnóstico de las sequías.
- c) Modelación de procesos hidrológicos superficiales y subterráneos, que considere el balance hídrico, la estimación de los procesos hidrológicos, así como la evaluación de esquemas de manejo de vegetación ante escenarios de cambio climático.
- d) Modelación numérica de la dinámica y transporte del flujo de acuíferos con interacciones superficial-subterráneo.
- e) Modelación hidrogeoquímica de contaminantes.
- f) Modelación química bacteriológica de contaminantes.
- g) Modelación de caudales ambientales.
- h) Modelación de cuerpos de agua costeros.
- i) Uso y comparación de modelos existentes.
- j) Desarrollo de esquemas numéricos para la evaluación de procesos hidrológicos.
- k) Establecimiento de políticas de operación de embalses para el control de inundaciones y sequías.
- l) Desarrollo de estudios históricos sobre procesos hidrológicos, consecuencias y respuestas sociales e institucionales.
- m) Desarrollo de índices de vulnerabilidad socioambiental por regiones, cuencas y municipios.

8. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

La atención de los múltiples problemas del agua requiere de técnicos, profesionales, especialistas e investigadores que se dediquen al estudio de ésta y sus procesos. Es importante actualizar y, en su caso, crear una nueva currícula en la materia, que forme al capital humano en las diferentes instituciones de educación. Otro aspecto importante de este esfuerzo es que se promueva una convocatoria a nivel nacional para atraer más recursos humanos. Al igual que en otras áreas de investigación, México requiere hacer un esfuerzo sustancial para ampliar la formación de recursos humanos a nivel superior en

materia de agua. Se requiere mejorar las perspectivas de los trabajadores en materia de agua, para hacerla una carrera atractiva para los jóvenes.

Existe poca educación en materia de agua en el nivel básico y en el medio, por lo que se torna necesario orientar a los estudiantes desde el principio. La educación para el desarrollo sostenible incluye en su agenda formativa la cultura del agua; sin embargo, es necesario que se formen capacidades en las instancias de formación docente como son las universidades pedagógicas, escuelas normales o universidades que imparten Pedagogía o Ciencias de la Educación. De lo contrario, los contenidos educativos no tendrán mayor trascendencia por carecer de metodologías, enfoques y didáctica que permitan un abordaje adecuado del agua y temas emergentes como la gestión de riesgos.

Las áreas de atención requeridas para la formación de recursos humanos en materia de agua son:

- a) Inclusión de temas de agua en el plan de estudios de educación básica, considerando experiencias prácticas asociadas con el ciclo hidrológico y la GICRH. Hay que observar que los temas de formación ambiental, como la cultura del agua, precisan de una educación basada no sólo en contenidos transversales, sino en procesos actitudinales que conlleven a una mejor relación de los sujetos con el medio en todas sus dimensiones: biofísico, cultural, económico, político, entre otros.
- b) Diseño curricular de educación básica y media con elementos de educación ambiental, GICRH y cultura del agua. En el caso específico de la educación media y la superior es necesario realizar intervenciones pedagógicas en áreas de tecnología; se requiere que los jóvenes reciban una formación tecnológica basada en la propia experiencia del manejo sostenible de los centros educativos. Se requiere que las escuelas se asocien a proyectos de tecnologías limpias, manejo integral de la calidad sanitaria, reciclaje, entre otros. Resulta ocioso hacer abordajes curriculares que no estén relacionados con prácticas cotidianas que les permitan involucrarse en procesos de cambio y en una formación científica vivencial y significativa.
- c) Reestructuración de los planes de estudio y ampliación curricular en educación superior para incluir temas emergentes relacionados con el agua y la GICRH. En educación superior es urgente que los profesores rebasen los límites de su formación profesional y se involucren en un enfoque más integral y dinámico respecto del abordaje de los contenidos del agua. Conceptos más actuales como la hidroecología están ausentes en la agenda de la educación superior. En este

sentido se requiere que los profesores universitarios se actualicen para un abordaje más interdisciplinario del agua.

- d) Investigación y documentación de las prácticas. La educación básica y media también requiere alentar la participación en las academias de investigación; por ello es importante que los estados incluyan a la comunidad docente de estos niveles en la participación de fondos para la investigación de los procesos formativos en la temática, y no sólo a los académicos de educación superior.
- e) Formación de técnicos y profesionales en materia de agua y temas afines como meteorología y la GICRH, con un cambio de paradigma tradicional, enfocado a capacidades y competencias.
- f) Formación y capacitación de profesionistas orientados a la construcción de procesos colaborativos entre la sociedad y los tres órdenes de gobierno, en torno a la GICRH en cuencas urbanas y rurales.
- g) Diseñar y establecer el posgrado en Hidroinformática en instituciones educativas cercanas a sistemas hidrológicos prioritarios del país.
- h) Desarrollo de capacidades y formación de recursos humanos en manejo sostenible del agua y la GICRH.
- i) Capacitaciones para facilitar la adopción social de nueva tecnología hidroagrícola.
- j) Desarrollar ofertas innovadoras de capacitación y certificación para los prestadores de servicios.
- k) Fomentar en la cultura del agua el respeto y cumplimiento de la normativa. La representación social del agua está asociada a las experiencias de sentido común de las personas; por ello, es importante generar una educación informal que permita al ciudadano común valorar el esfuerzo del gasto público en materia de agua. Esta reeducación implica procesos de información y sensibilización. Asimismo, es necesario formar capacidades técnicas mínimas para solventar necesidades relacionadas con la gestión democrática del agua, incorporando acciones para la formación de capacidades locales.
- l) Desarrollo de programas de cultura de la prevención de la contaminación, uso de contaminantes y descargas, así como manejo y confinamiento adecuados de basura, para evitar su depósito en ríos y lagos.
- m) Creación de diplomados en consorcio con universidades y centros de investigación.
- n) Formación de profesionales orientados a reconocer la multiplicidad de sistemas sociales, naturales, hidrológicos, económicos, políticos y culturales que interactúan en los procesos de manejo del agua.
- o) Fomento de la cultura del cuidado del agua y educación ambiental desde el jardín de niños hasta la universidad para reducir, reusar y reciclar los desechos sólidos, así como un confinamiento seguro.

III. COMENTARIOS FINALES

Este escrito no es un esfuerzo aislado sino un documento de consulta como referencia actualizada acerca de lo que se requiere para la GICRH en el país. Ello requiere su periódica revisión, mejora y puesta al día, a la que las instancias convocantes han de comprometerse. En definitiva, es el deseo de todas las personas que han colaborado con este documento, que el esfuerzo realizado contribuya sustancialmente a una mejor inversión de recursos humanos y económicos en la investigación, dirigidos a la solución de los problemas del agua en México.

Es importante que los participantes en la elaboración de este documento, constituidos como un cuerpo asesor en materia de agua del FCCyT, le den seguimiento a la instrumentación económica de las propuestas de investigación sugeridas, a través del fideicomiso "Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua" de CONAGUA-CONACYT.

En este contexto, es preponderante considerar, además de la adecuación de condiciones legales, logísticas y técnicas contempladas en el presente documento, la ampliación de los presupuestos para la investigación, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos en materia hídrica, ajustándola a los porcentajes del PIB de otros países que exitosamente han logrado una buena GICRH. Asimismo, debe considerarse la participación económica en el sector privado en el saneamiento y reúso de aguas. La exposición en el presente documento de 251 atenciones prioritarias de investigación en materia de agua, que replicándose en programas de investigación de 1 millón de pesos en las trece Regiones Hidrológicas Administrativas del país, nos arroja una buena indicación del monto de inversión de recursos económicos (3,263 millones de pesos) requeridos para instrumentar las investigaciones que darán paso a la solución de la problemática del agua en el país.

También es importante resaltar que la formación de un mayor número y mejores recursos humanos especialistas en todos los temas del agua, impactará en una ética más congruente de asesores técnicos, proveedores, directores de organismos, administradores de sistemas de suministro, distribución y saneamiento de aguas.

IV. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Bustos, Ana (2012). **Programa Conjunto de Agua y Saneamiento de Las Naciones Unidas en México. Informe Preliminar de la Estrategia de Educación y Comunicación**, Centro de Investigación e Innovación para la Enseñanza y el Aprendizaje (CIIEA), Tabasco.
- Chávez R., F. Lara y R. Sención (2006). **El agua subterránea en México: condición actual y retos para un manejo sostenible**. *Boletín Geológico y Minero*, 117 (1): 115-126.
- CONAGUA (2011). **Agenda del Agua 2030**. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Helmholtz Centre for Environmental Research (2010). **White Paper for the 1st Water Research Horizon Conference “New Initiatives in Water Research 2010”**. Berlin, Priority Research Fields.
- IMTA (1995). **Diagnóstico de la salinidad en el Distrito de Riego 076, Valle del Carrizo, Sinaloa**. Coordinación de tecnología de riego y drenaje, Proyecto RD-95062.
- _____ (1995). **Pronóstico de riego en tiempo real**. Coordinación de tecnología de riego y drenaje, Proyecto RD-95062.
- IMTA, CONAGUA, SEMARNAT (2012). **Programa de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua: Horizonte 2030**. México.
- INEGI, GDF (2002). **Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002**. México.
- IPCC (2008). **Cambio climático 2007: Informe de síntesis**. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. Ginebra, IPCC.
- Magaña V., D. Zermeño, C. Neri (2012). **“Climate change scenarios and potential impacts on water availability in northern Mexico”**. *Clim Res*, Vol. 51: 171–184, 2012. Revisado (3/03/2012) En: <http://www.int-res.com/abstracts/cr/v51/n2/p171-184/> doi: 10.3354/cr01080
- Miguel-Galindo L. (2009). **La economía del cambio climático en México**. México, Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Oswald Spring, Ú. (coord., 2011). **Retos de la investigación del agua en México.**
Cuernavaca, CRIM-UNAM, RETAC-CONACYT.

SEMARNAT (2007). **Programa Nacional Hídrico.** México.