Programa de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua

Horizonte 2030

Propuesta para discusión

Marzo de 2012

CONTENIDO

PANORAMA GENERAL 3
Agua y Salud 4
Agua y Pobreza 7
Agua y Medio ambiente 8
Agua y Producción de alimentos 9
Agua y Cambio Climático 11
Agua y Ciencia y tecnología 11

1. LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA DEL AGUA EN MÉXICO 14
1.1 Inversión en ciencia y tecnología 15
1.2 Instituciones de investigación y desarrollo tecnológico 20

2 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS PARA LA GESTIÓN SUSTENTABLE DEL AGUA EN MÉXICO 30
2.1 Agua y Ciudades 32
2.2 Agua y medio rural 33
2.3 Agua y medio ambiente 34
2.4 Agua y Producción de Alimentos 38
2.5 Agua y energía 41
2.6 Gobernanza del agua 43
2.7 Efectos del cambio climático 45
2.8 Formación de Recursos Humanos 45

3. RECOMENDACIONES DE POLÍTICA PÚBLICA 53

OBRAS CONSULTADAS 56

PANORAMA GENERAL

El mundo experimenta una crisis multidimensional. Diversos elementos cruciales para la sociedad han entrado en un proceso de crisis. Se identifica (v.g. Planck Foundation, 2011) una crisis económica y financiera, una crisis de energía, una crisis de alimentos y, conforme a la opinión de diversos expertos y centros de análisis, una crisis de agua (Water Initiative, World Economic Forum, 2011). En muchas regiones del mundo los recursos hídricos superficiales se utilizan al límite de su disponibilidad, y muchos acuíferos están sobreexplotados. La contaminación de los cuerpos de agua, especialmente en Asia pero también en otras regiones del mundo, es uno de los grandes retos.

Esta crisis multidimensional es también sistémica, sobre todo en lo que respecta a los recursos naturales, cuyos límites están cerca de alcanzarse o, en algunas regiones, se han alcanzado ya. Por lo tanto, las soluciones a futuro no se pueden alcanzar si se continúa usando el modelo actual aún con las mejoras necesarias.

La situación de los recursos hídricos en México, país que tiene del orden de 70% de su territorio ubicado en zonas áridas o semiáridas, y que ha experimentado un importante crecimiento de la demanda de agua, originado tanto por su crecimiento demográfico como por su desarrollo económico, tampoco es de sencillo tratamiento, pues se requieren cambios estructurales profundos en la relación de la sociedad con sus recursos naturales, que consideren al agua como un componente del ecosistema, cuya calidad, cantidad y temporalidad debe estar estrechamente vinculada a un manejo de los recursos naturales por cuenca hidrográfica; ya que es imprescindible que la gestión del agua se realice en ese particular contexto territorial, como lo establece la Ley de Aguas Nacionales.

La disponibilidad del agua en México registra importantes variaciones regionales. Aunque el volumen total del recurso hídrico en el país es suficiente, su distribución desigual afecta la disponibilidad de este líquido en las zonas con mayor población y actividad económica. Esto ha generado una importante presión sobre los escasos recursos hídricos de las regiones áridas y semiáridas, en especial en los

grandes núcleos urbanos. El mayor porcentaje de la población nacional, así como las grandes ciudades y centros de producción industrial, ganadera y agrícola, se encuentran distribuidos precisamente en zonas áridas y semiáridas, ubicadas principalmente en la parte centro-occidente y al norte del país. El 77% de la población nacional se concentra en regiones donde se cuenta solo con el 31% de la disponibilidad natural de agua; en contraste, el sur menos poblado reúne el 69% de los recursos hídricos del país.

De acuerdo con estimaciones de la CONAGUA, la disponibilidad de líquido se ha reducido de 18 mil metros cúbicos por habitante por año en 1950 a sólo 4 mil 422 en 2010. Las proyecciones de la CONAPO indican que para el año 2030 la disponibilidad media de agua se reducirá a 3,705 m^3 por habitante por año. En tanto, 101 de los 653 acuíferos del país registran condiciones de sobreexplotación, mientras que gran parte del agua superficial presenta algún grado de contaminación.

Se estima que en el año 2008 en México se reutilizaron solamente 5,051 hm^3 de agua. Entre las acciones que pueden coadyuvar a la solución de los problemas de escasez, el reúso de agua de origen municipal puede transferir aguas residuales tratadas hacia cultivos agrícolas y en una menor proporción, tanto a los propios municipios como a las industrias. En el caso del reúso de agua de origen industrial (no municipal) destacan las aguas residuales para cierto tipo de actividades productivas, como la de los ingenios azucareros. Asimismo, las transferencias de agua de primer uso de la agricultura de riego, pueden ayudar a cubrir la creciente demanda de centros de población.

En un breve resumen, considerando la demanda social que atiende cada uno de los siguientes aspectos, la problemática del agua en México se puede caracterizar como sigue.

Agua y Salud

En México, el artículo 115 Constitucional faculta al municipio libre para prestar los servicios públicos de suministro de agua potable y saneamiento de los que depende en gran medida la salud de la población. Debido a la gran diversidad geográfica, territorial, poblacional y económica, cada municipio, y por ende

cada organismo operador, enfrenta retos y situaciones particulares que afectan la gestión y calidad de los servicios. Esta situación 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 prestados a nivel estatal, como es el caso de Nuevo León, o por concesionarios privados, como en Cancún, Torreón o Aguascalientes.

Por ello, el principal reto en materia de salud relacionado con el agua es lograr la cobertura universal, con calidad, de los servicios de agua potable y saneamiento. Conforme a las cifras de la Comisión Nacional del Agua, la cobertura actual de agua potable es de 91.1%, la de alcantarillado de 87.3% y se trata alrededor del 42% de las aguas colectadas en el drenaje urbano (estimaciones CONAGUA al 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.

Las causas de esta situación se refieren, por una parte, al gran número y diversidad de los organismos operadores y sus condiciones particulares de orden técnico, administrativo y financiero, y por el otro, a la insuficiente inversión, el rápido crecimiento poblacional y las concentraciones urbanas - algunas en sitios donde ya no existe disponibilidad de agua -, tarifas inadecuadas, bajos niveles de cobranza, ineficiencias en la prestación de los servicios, deficiente cultura del agua entre los usuarios y escasez de recursos humanos calificados.

Las soluciones apuntan a administrar la demanda mediante un uso más eficiente del agua, mejorar la planeación, preparar y actualizar suficientes recursos humanos, así como buscar nuevas fuentes de agua en esquemas compatibles con el cuidado del medio ambiente, impulsando transferencias entre usos del agua y desalinización. Desde luego, será necesario mantener un elevado ritmo de inversiones en nueva infraestructura y en el mantenimiento de la existente.

La situación de los organismos operadores de agua potable y saneamiento, caracterizada por recursos económicos insuficientes, no les permite proporcionar una calidad óptima del servicio. 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 del 40.87%. Es decir que del agua extraída de las fuentes de abastecimiento se pierde el 41.4%, y se pierde o no se cobra el 59.13%. Si bien alarmantes, estas cifras representan las áreas de oportunidad para mejorar la gestión e incrementar la oferta de agua sin acudir a costosas inversiones en nuevas fuentes de abastecimiento, y en particular a evitar o disminuir la presión sobre los recursos hídricos.

Las causas fundamentales de esta situación están referidas al bajo desempeño de los organismos operadores. Las bajas tarifas, las cuales desincentivan el uso eficiente en el usuario, juegan un papel importante, aunque son compensadas – si bien no completamente – con subsidios federales, estatales y municipales. La falta de personal capacitado, sobre todo en los niveles gerenciales, y la alta rotación del mismo, son otra de las causas del bajo desempeño de los organismos operadores cuyas soluciones apuntan al incremento en el uso eficiente del agua, ligado a la mejora en su desempeño, y la formación y preparación continua de cuadros gerenciales. Asimismo, desde el punto de vista organizacional, como han reconocido diversos expertos, es necesario mejorar la regulación en la provisión de los servicios de agua, pero no se han dado pasos significativos al respecto.

En lo que hace al abastecimiento de agua para consumo humano y al saneamiento en el medio rural, es necesario un enfoque técnico y metodológico completamente diferente, dado que las soluciones provistas por la tecnología en uso en las zonas urbanas no son aplicables o son muy caras, al no tener la ventaja de las economías de escala. Adicionalmente, las pequeñas comunidades no pueden pagar elevados costos de operación y mantenimiento.

En materia de la calidad del agua provista a los ciudadanos, no hay suficiente información para determinar cuantitativamente su calidad, sobre todo en el medio rural. Sin embargo, se reconoce que cada vez con mayor frecuencia se presentan problemas de contaminación natural en las fuentes, que hacen técnicamente más difícil y costosa la potabilización. Es necesario mejorar y disminuir los costos

de potabilización pero, principalmente, atender necesidades especiales como la presencia natural de metales pesados como plomo, arsénico, flúor y hierro en las fuentes subterráneas.

Las soluciones apuntan a la optimización de sistemas de potabilización y al desarrollo de sistemas más económicos para tratamiento de contaminantes naturales, como los citados anteriormente.

Agua y Pobreza

La carencia de agua y la pobreza están fuertemente relacionadas. La falta de agua potable y saneamiento es uno de los indicadores utilizados para determinar el nivel de marginalidad de una población o un municipio. En México, aunque se registra un crecimiento constante de zonas periurbanas a las que cada vez es más difícil proveer de servicios, la mayor problemática del agua y la pobreza se registra en las zonas rurales. En 2005 se estimó que el 60% de la población en extrema pobreza se encontraba en zonas rurales, así como el 46% de la población con pobreza moderada.

Es conocido que un elemento que dificulta la provisión de servicios de agua, característica del medio rural, es la alta dispersión de la población. Adicionalmente, muchas de estas comunidades se encuentran localizadas en zonas montañosas o áridas de difícil acceso.

Por esta razón, las coberturas de agua potable y saneamiento en el medio rural son las más bajas de México, y están relacionadas no solamente con las dificultades físicas de abastecimiento, sino también con la necesidad de formas de organización social y de gestión diferentes para la provisión de los servicios. La mayoría de los organismos operadores municipales solamente proveen el servicio en las cabeceras municipales.

Como parte importante de la solución a los problemas de agua en el medio rural, la contribución del desarrollo y diseminación de conocimiento y tecnologías se centra en este caso en la innovación mediante tecnologías apropiadas, y en el estudio y apropiación de modelos organizativos para la

gestión del agua en pequeñas comunidades, tanto para la provisión de servicios de agua potable y saneamiento, como para el riego de pequeñas parcelas.

Agua y Medio ambiente

Es importante considerar como elemento primordial del Programa de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua la relación intrínseca entre el recurso hídrico, la gestión por cuenca hidrológica y el medio ambiente. En este sentido, ante los retos que plante el cambio climático, se debe hacer hincapié en el estudio de la dinámica de las cuencas y resaltar la importancia de contar con escenarios y balances hidrológicos a nivel regional ante dicho cambio climático, ya que habrá transformaciones en el uso del suelo, las actividades productivas y los asentamientos de población. Será fundamental conocer impactos en la degradación ambiental y, en particular, en la cantidad y calidad del recurso a nivel cuenca para, sobre esta base, identificar medidas de mitigación y adaptación efectivas.

En materia de agua y medio ambiente, en México se enfrentan grandes retos relacionados con el caudal ecológico y la presencia de sustancias tóxicas. Históricamente, la mayoría de las obras hidráulicas se construyeron bajo el concepto de utilizar el máximo de agua disponible en cada punto de la corriente. No se respetó la permanencia de un caudal ecológico, es decir aquel que ayuda a restaurar y mantener el hábitat ripario en los cauces. Como resultado, han desaparecido o se encuentran en peligro de hacerlo numerosas especies acuáticas y riparias, algunas de ellas endémicas.

La solución, desde el punto de vista del conocimiento y la innovación, es el desarrollo, validación y aplicación de métodos de determinación del caudal ecológico y de medidas para mantenerlo.

A partir de la elaboración y liberación al medio ambiente de un número cada vez mayor de sustancias químicas, algunas de ellas dañinas, son necesarias medidas para su control. No obstante, el número de sustancias químicas artificiales y naturales existentes alcanza varios millones, por lo que un enfoque analítico para su determinación es, además de muy costoso, de aplicación virtualmente imposible. Por ello, es necesario el desarrollo de técnicas de detección toxicológica, en las que se expone a un

organismo vivo al agua presuntamente contaminada, y de su respuesta biológica se determina la existencia de algún tipo de contaminante, que después se precisa con mayor detalle ante una necesidad específica de control.

Desde luego, además de la determinación de la existencia de toxicidad, es necesario el desarrollo de nuevos sistemas de potabilización y tratamiento de aguas residuales que eliminen algunas de las sustancias tóxicas más difíciles de determinar, en especial los denominados contaminantes emergentes, que son sustancias que se encuentran presentes en pequeñas cantidades y, sin embargo, presentan un alto riesgo a la salud de los seres humanos y los ecosistemas. Entre ellas, las hormonas y otros fármacos de uso extendido.

Agua y Producción de alimentos

Las condiciones actuales de crisis alimentaria mundial ocasionada tanto por fenómenos meteorológicos extremos, como por los altos precios de los alimentos, llama una vez más la atención sobre la agricultura de riego, que representa la única posibilidad de incrementar la producción de estos bienes esenciales. Considerando solamente la tasa prevista de crecimiento de la población, se estima que hacia el año 2050 se requerirá producir 30% más de alimentos, con una menor cantidad de agua –pues ésta se requerirá para usos urbanos e industriales de mayor valor agregado - y, probablemente, en México con menos superficie disponible debido al crecimiento urbano y la salinización de suelos.

Asimismo, la producción para biocombustibles plantea nuevos retos para incrementar la producción de alimentos, debido a que mayores superficies agrícolas se destinan en el mundo a este propósito. En el caso de México es muy posible que esta circunstancia no sea la excepción, sobre todo por los cambios tecnológicos en favor de la disminución de emisiones que ello involucra, ante el espectro del calentamiento global. Sin embargo, la huella hídrica para la producción de biocombustibles, con la mayoría de las tecnologías actuales, es mucho mayor que la generación de energía con otras fuentes.

La principal problemática de la agricultura de riego es la productividad y eficiencia en el uso del agua, que deben ser incrementadas para producir más con menos agua, en general, a partir de la innovación tecnológica. Las causas principales de la baja inversión en modernización tecnológica están ligadas a esquemas de subsidios en los países desarrollados, difícilmente replicables a nivel nacional, lo que hace que las inversiones en modernización para lograr un uso más eficiente del agua no faciliten tasas de retorno positivas para que puedan ser aceptadas por los agricultores, para quienes el agua de riego no tiene costo, o éste es muy pequeño y ligado a la conservación, al servicio o al bombeo, y no directamente al agua, cuyo derecho de extracción en México es cero pesos.

El reto tecnológico principal consiste en la elaboración de paquetes tecnológicos que, al tiempo que conserven el agua, incrementen la producción agrícola y por lo tanto representen un beneficio neto para los agricultores.

Otro reto importante para México, especialmente en el trópico húmedo, es el diseño de sistemas de drenaje eficientes y de bajo costo.

Por otra parte, dada la importancia que reviste para el sustento del sistema de alimentación básica para amplios sectores de la población de escasos recursos o en pobreza, desde el punto de vista de la producción de alimentos en las zonas rurales, ésta plantea la necesidad de tecnologías apropiadas,[1] que permitan una alta productividad, pues la dimensión de las parcelas es muy pequeña, con condiciones de pendiente y tipos de suelo muy heterogéneos, que impiden el uso de los sistemas empleados en los grandes distritos de riego. No obstante, la producción para autoconsumo en estas comunidades es una parte esencial de la dieta de sus habitantes.

[1] Conjunto sistemático de conocimientos y procedimientos para la organización y/o producción de bienes y servicios que satisfagan necesidades de poblaciones en situación de pobreza. Estas se asumen e interiorizan cotidianamente, respetando la identidad cultural y el medio ambiente (Sánchez Narvaez, 1996).

Agua y Cambio Climático

El clima y el ciclo hidrológico están estrechamente vinculados; de tal suerte que el incremento de temperatura esperado en los escenarios más probables de cambio climático tendrá un impacto importante en la disponibilidad de los recursos hídricos del mundo en general y de México en particular. Las variaciones de temperatura, nivel del mar y deshielo, observadas y registradas en las últimas décadas en el hemisferio norte, en el que se ubica México, confirman su alta vulnerabilidad ante el cambio climático. En general, en latitudes medianas y zonas subtropicales se prevén importantes disminuciones en la precipitación y el escurrimiento, lo que ocasionará escasez y mayor presión sobre los recursos hídricos. Estas condiciones se están registrando ya en algunas de las principales cuencas hidrológicas de México y, de no adoptarse medidas de adaptación, podría estar en riesgo la seguridad hídrica del país.

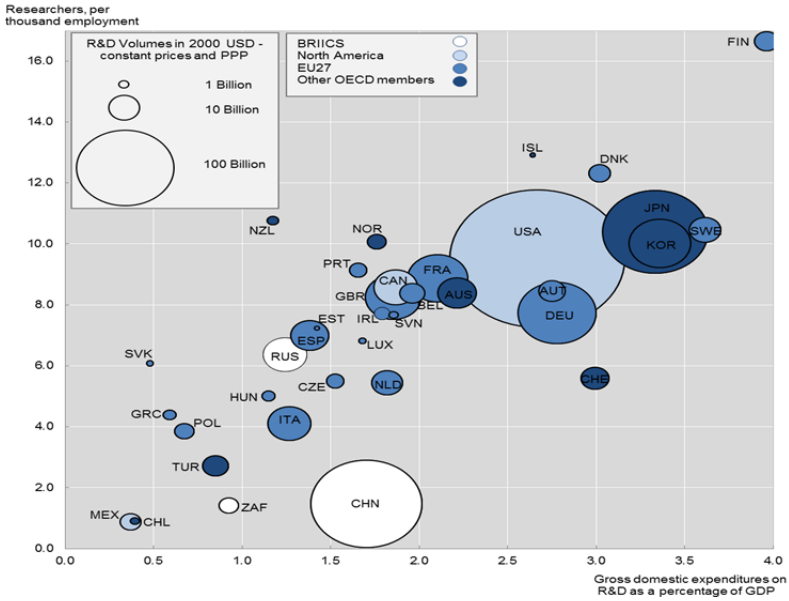
Por otra parte, se esperan lluvias más intensas y eventos extremos, que incrementarán la vulnerabilidad de algunas cuencas del sureste que ya registran problemas de inundaciones. Conforme a estudios recientes realizados en el IMTA (Martínez-Austria y Patiño-Gómez, 2011), se espera que hacia finales de siglo la temperatura se incremente en más de 3 °C en el promedio anual y que la precipitación disminuya más de 15%, si bien con importantes variaciones entre regiones. Para lidiar con estos y otros efectos del cambio climático en el territorio mexicano, se requiere de mejores modelos basados en escenarios de cambio climático, así como diseñar y priorizar acciones de adaptación en las regiones hidrológicas más vulnerables.

Agua y Ciencia y tecnología

En un mundo con recursos naturales limitados, algunos de los cuales han alcanzado sus límites o, como en el caso del agua en algunas regiones, han sido rebasados y sobreexplotados; y donde además el acceso a recursos económicos será también limitado, la ciencia y la tecnología son una de las opciones más efectivas – en muchos casos la mejor – para resolver los retos que el futuro plantea. Así se establece en el documento de prospectiva de la ciencia y tecnología de México al 2030 del Foro Consultivo Científico y Tecnológico de México (FCCT, 2009). También en el ámbito internacional esta

es una realidad reconocida; recientemente la editorial de la revista *Science* (2011), en el contexto de la crisis económica de los EEUU, destaca que la investigación es esencial para el crecimiento económico.

Los países desarrollados, y aquellos que se encuentran en un proceso claro de crecimiento económico, así lo han entendido, como lo demuestra la siguiente gráfica, que presenta la relación entre el número de investigadores y las inversiones en ciencia y tecnología de diversos países (OCDE, 2011). Desafortunadamente, México se encuentra entre los países con menor inversión y menor número de especialistas dedicados a estas actividades.



Grafica 1. No. de investigadores por cada mil empleados en relación con el gasto en ciencia y tecnología como porcentaje del PIB (precios constantes, dólares americanos de 2000). Fuente: OCDE. 2000

Por otra parte, de acuerdo con el documento de Futuros de la Ciencia y la Tecnología del Foro Consultivo de Ciencias (2009), una de las limitaciones de las políticas de ciencia y tecnología en México es que éstas han sido cambiantes, y no se han alineado con las prioridades nacionales. En el caso de la investigación en agua, dicha complicación se puede resolver si las líneas de investigación se alinean con una visión de largo plazo. Con una estrategia de largo aliento, fundada y avalada por la comunidad

científica y técnica, así como por los encargados de la gestión del agua en el país y la autoridad nacional en la materia, los resultados de la investigación y desarrollo de tecnología serán más efectivos en el apoyo a la solución de la problemática hídrica de nuestro país.

En resumen, se puede constatar que las fuerzas dominantes en la crisis del agua son el incremento y la concentración de la población, el aumento de sus necesidades debido –entre otros factores menos relevantes – al desarrollo económico y las nuevas condiciones de clima extremo que el cambio climático está ocasionando, y que serán más complejas con el devenir del tiempo. No es posible controlar los procesos demográficos – al menos no en un sistema democrático -, no es posible alterar significativamente la disponibilidad natural de agua ni su variabilidad y, desde luego, es un propósito deseable que las condiciones económicas mejoren y puede esperarse, por tanto, que la demanda de servicios de la población se incremente. Lo que se puede cambiar es el conocimiento y la tecnología aplicados a la solución de estos problemas, el flujo de capitales y las prioridades en el financiamiento, y la forma en que se gestiona el agua. Estos son los factores a atender, y están interrelacionados.

En este texto se analizará cómo pueden la ciencia y la tecnología – y sus productos: conocimiento e innovación respectivamente – contribuir a la construcción de un futuro deseable para México en el marco de una visión de largo plazo del agua en México.

1. LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA DEL AGUA EN MÉXICO

El tema del agua es uno de los más transversales. Numerosas disciplinas científicas y tecnológicas se ocupan de su estudio: la economía, las ciencias sociales, las ciencias de la salud, las ciencias de la tierra y, por supuesto, la hidrología y la hidráulica, entre muchas otras. Adicionalmente, para lograr que la investigación sea integral sobre este recurso deben incorporarse estudios con perspectivas distintas, como la política, histórica, legal y evidentemente, ecológica. Un enfoque multidisciplinario permite tener un acercamiento veraz sobre los posibles vacíos y omisiones del estudio del recurso hídrico y su gestión en México.

Por estas razones, elaborar un diagnóstico exhaustivo de la investigación realizada en este tema es casi imposible. Sin embargo, si es posible y útil limitar el análisis a las disciplinas científicas y tecnológicas que tienen al agua como su principal, o uno de sus principales, temas de estudio. Estas disciplinas son fundamentalmente la hidrología, la hidráulica, las de calidad de agua – incluyendo el tratamiento de aguas – y la agricultura de riego.

Otra limitante importante para el análisis de la investigación en las disciplinas del agua, que es preciso mencionar previo a cualquier discusión del tema, es la falta de información estadística disponible. La mayor parte de la información, cuando existe, se encuentra embebida en otras categorías, por ejemplo en “medio ambiente” o “infraestructura”. No obstante, es posible arribar a conclusiones relevantes si se analizan los productos más importantes de la investigación: producción de artículos técnicos y científicos y patentes, entre otros; así como la información de la inversión en las principales instituciones del sector.

1.1 Inversión en ciencia y tecnología

Uno de los principales indicadores de la actividad científica, reconocido por la OCDE y el CONACYT, es la inversión, usualmente en términos del producto interno bruto (PIB) y/o del gasto programable de los gobiernos, dedicado a esta actividad.

Ante el reconocimiento universal de la relevancia del conocimiento y la innovación en el desarrollo humano, las inversiones en el mundo, con pocas excepciones, han venido aumentando durante la última década. En la figura 2.1 se muestra la evolución de la inversión en regiones seleccionadas, de acuerdo con información de la Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT, 2010).

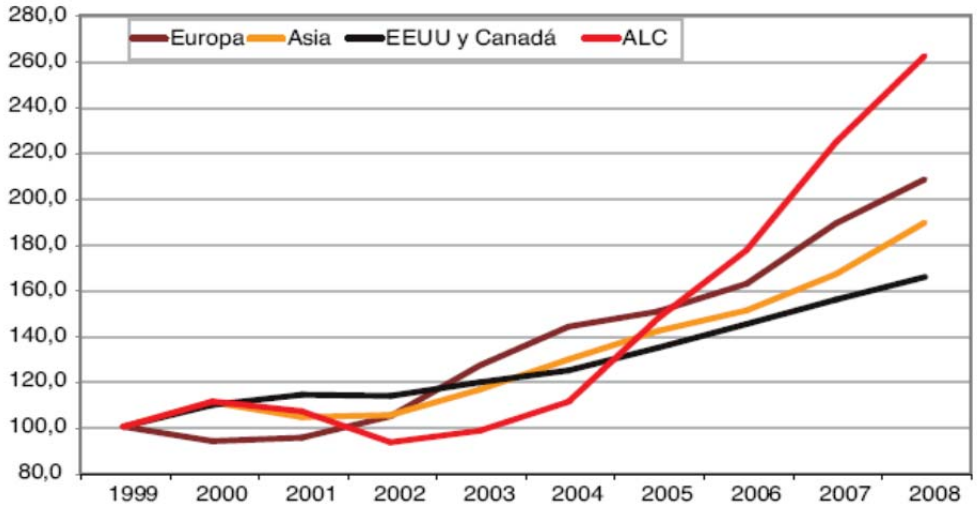


Figura 1.1. Inversión en ciencia y tecnología en dólares corrientes (base 1999=100), regiones seleccionadas (RICYT, 2010).

Como puede observarse, salvo una breve disminución en 2002, la inversión en Latinoamérica ha sido la que mayor crecimiento porcentual ha registrado; sin embargo, ésta representa en términos absolutos solamente el 2.3% de la inversión total del mundo. Por otra parte, este crecimiento no ha sido uniforme en todos los países de Iberoamérica. Como muestra la figura 2.2, el mayor crecimiento se ha registrado en Brasil y España.

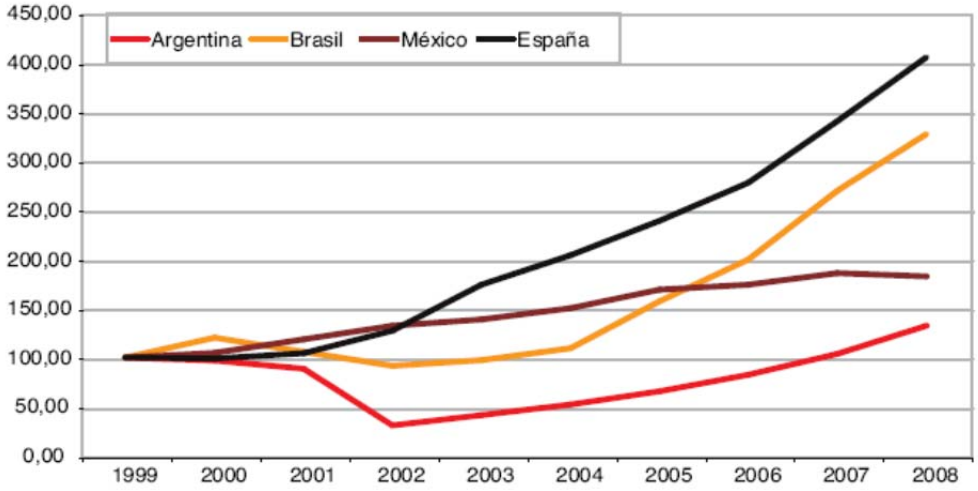


Figura 1.2. Inversión en ciencia y tecnología en dólares corrientes (base 1999=100), países seleccionados de Iberoamérica (RICYT, 2010).

En la figura 2.3 se muestra la inversión en ciencia y tecnología en Iberoamérica para el año 2008.

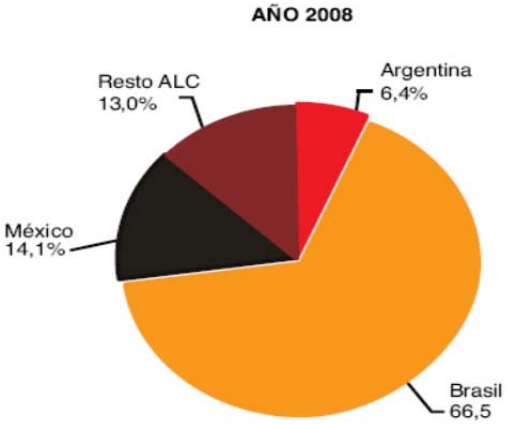


Figura 1.3. Inversión en ciencia y tecnología en América Latina y el Caribe (RICYT, 2010).

Brasil representa el 66.5% de la inversión en el subcontinente, seguido de México con sólo un 14.1%. Las tendencias de crecimiento en los principales países de la región han significado que, en una década, Brasil aumentó de 54.4 a 66.5%; y México disminuyó de 20.2 a 14.1%, cifras nada alentadoras.

En México, la mayor parte de la inversión en ciencia y tecnología la realiza el gobierno federal. En la figura 2.4 se muestra la evolución de estas inversiones.

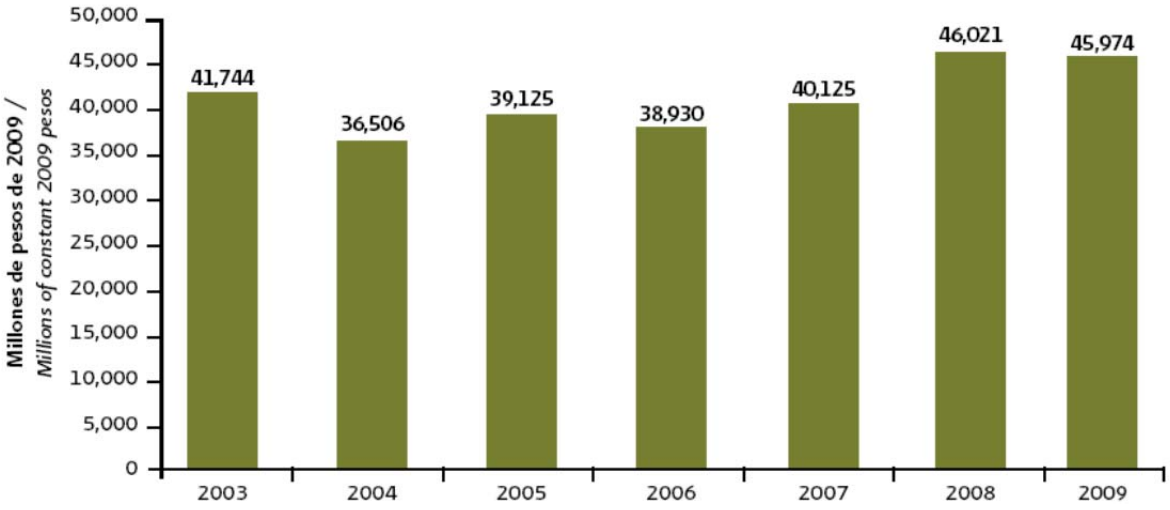


Figura 1.4. Gasto federal en ciencia y tecnología, México. (CONACYT, 2010)

En términos porcentuales, la inversión también ha crecido ligeramente los últimos años como lo muestra la figura 2.5, sin embargo, aún representa apenas el 0.39% del PIB, proporcionalmente menos que hace diez años (0.42 en 2000). Esto se debe a que, como resultado de mejores políticas fiscales, entre otras, el gasto programable del gobierno federal ha venido aumentando, no así la proporción destinada a la ciencia y la tecnología, que era de 2.68% en el año 2000, y disminuyó a 1.87% en el año 2009.

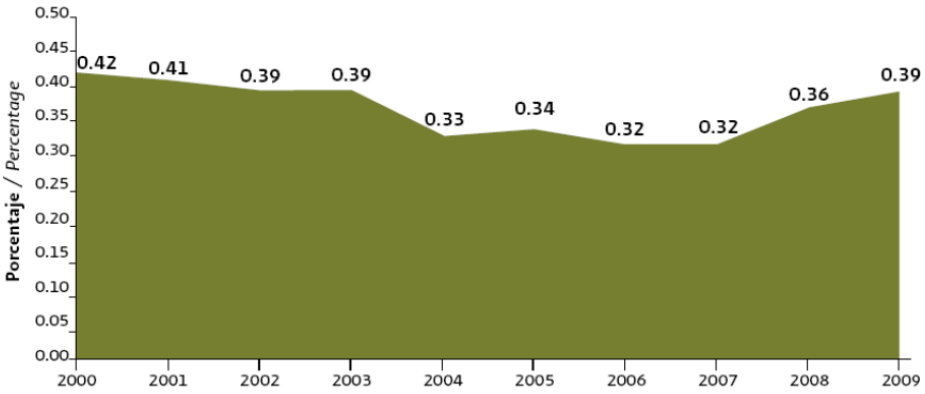


Figura 1.5. Inversión en México como porcentaje del PIB (CONACYT, 2010)

Si se suma a la inversión federal la privada, el porcentaje de inversión respecto del PIB para investigación y desarrollo experimental (GIDE), es del 42% en 2009. Si a éste se añaden las inversiones en educación superior científica y tecnológica, y los gastos en servicios científicos y tecnológicos, el porcentaje total será de 0.66% del PIB. Esta proporción es aún muy baja respecto de otros países con un tamaño de economía similar. Los países miembros de la OCDE invierten en promedio 2% de su PIB en ciencia y tecnología. Las economías más competitivas invierten porcentajes mayores. Por ejemplo, Estados Unidos de América 2.77%; Alemania 2.53% y Japón 3.44%. Como resultado, la brecha científica y tecnológica continúa incrementándose con respecto a estos países.

Como es de suponer, el número de personas dedicadas a la investigación y desarrollo tecnológico en México es también muy bajo respecto de países con economías similares o miembros de la OCDE. En la figura 2.6 se muestra un comparativo elaborado por el CONACYT. Una medida del nivel académico de estos investigadores, es su pertenencia al Sistema Nacional de Investigadores (SNI). En 2009, el SNI contaba con 15,655 miembros, y de ellos 2,238 (14.4%) en el área de ingeniería y tecnología. No se conoce aún cuántos de ellos se dedican a las ciencias y tecnologías del agua.

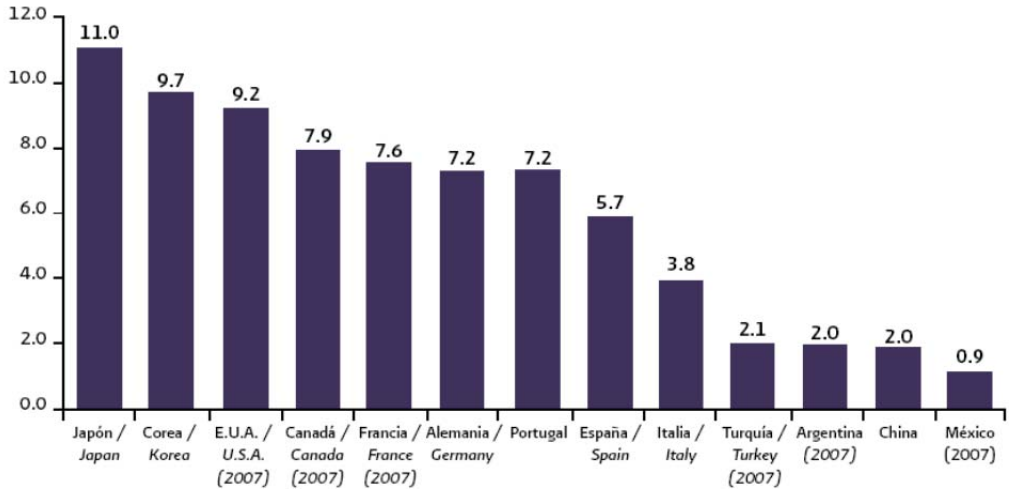


Figura 1.6. Investigadores por cada 1000 habitantes de población económicamente activa (CONACYT, 2010)

La inversión federal en ciencia y tecnología, por sectores, se muestra en la figura 2.7. Como puede observarse, solamente el 1.4% se dedica al sector medio ambiente. De ese monto, aproximadamente la mitad se dedica al agua, lo que significa solamente alrededor del 0.7% del gasto federal y 0.000027% del PIB nacional. Esta cantidad resulta muy reducida, si se considera la problemática hídrica que enfrenta nuestro país.

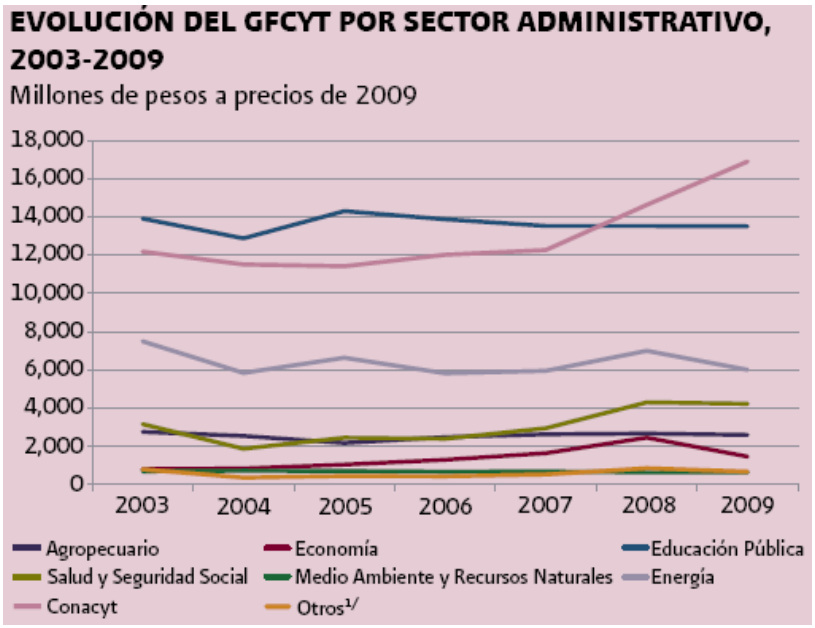


Figura 1.7. Evolución del gasto federal en ciencia y tecnología por sector (CONACYT, 2010)

Esta situación de bajo presupuesto dedicado a los centros de investigación, ha ocasionado que muchos de ellos dediquen una parte sustancial de sus recursos humanos e infraestructura a la prestación de servicios tecnológicos. Esta política tiene algunas ventajas, sobre todo la de fomentar una mayor vinculación con los sectores sociales y productivos, pero aplicada en exceso reduce su capacidad para desarrollar ciencia y tecnologías propias para México.

1.2 Instituciones de investigación y desarrollo tecnológico

Si bien un mapeo más completo de las instituciones e investigadores relacionados con el estudio del agua, debe realizarse para ampliar el espectro a los diversos campos de investigación y desarrollo tecnológico, y mejore la información en el país incorporando a instituciones que se han integrado a líneas de trabajo permanente en agua, el análisis actual del sector permite ubicar la problemática.

Debido a su alta transversalidad y dispersión, se desconoce el número exacto de investigadores dedicados a los temas del agua y su ubicación en las instituciones del sistema de ciencia y tecnología. No obstante, se puede determinar, de manera indirecta, cuales instituciones poseen grupos de investigadores activos en los temas del agua, por medio de un análisis de las publicaciones que realizan en congresos y seminarios nacionales, así como en revistas especializadas.

Con este propósito se realizó un análisis de la procedencia de los autores de los artículos presentados en el más reciente Congreso Nacional de Hidráulica (AMH, 2010), y se contabilizó a los participantes, independientemente de si eran los autores principales o coautores de cada artículo. Se encontró que participaron con contribuciones investigadores de 47 instituciones, sin embargo, casi el 90% de los autores provienen de solamente siete instituciones, como se muestra en la figura 2.8.

Publicaciones en Congreso Nacional de Hidráulica, 2010		
Institución	Porcentaje	Acumulado
IMTA	28.83	28.83
Instituto de Ing. UNAM	16.56	45.39
CONAGUA	11.66	57.05
Fac. Ing. UNAM	10.43	67.48
CFE	9.82	77.3
UASLP	6.13	83.43
IPN	4.29	87.72
UAJT	4.29	92.01
UDLAP	1.84	93.85

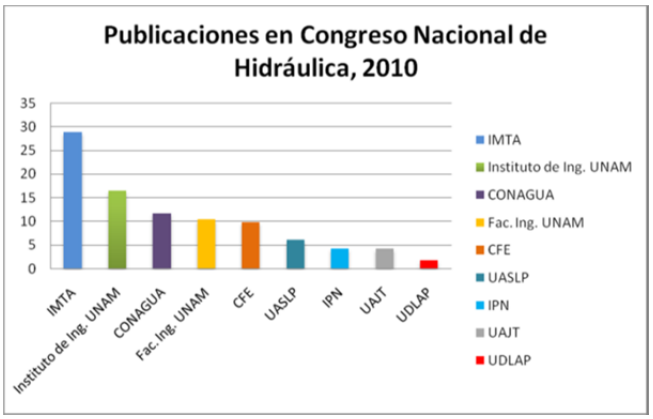


Figura 1.9. Autores por institución durante el Congreso Nacional de Hidráulica 2010 (AMH, 2010)

Un ejercicio semejante se llevó a cabo con las memorias del XV Congreso Nacional de Irrigación, llevado a cabo en 2009. Una vez más, se encontró que casi el 90% de las contribuciones provienen de autores de solamente 4 instituciones. En la figura 2.9 se resumen estos resultados.

Institución	No. de ponencias	Porcentaje
IMTA	65	28.4%
COLPOS	59	25.8%
CONAGUA	53	23.1%
U. A. Chapingo	24	10.5%
INIFAP	4	1.7%
Benemérita U.A. de Puebla	4	1.7%
U. A. de Zac.	4	1.7%

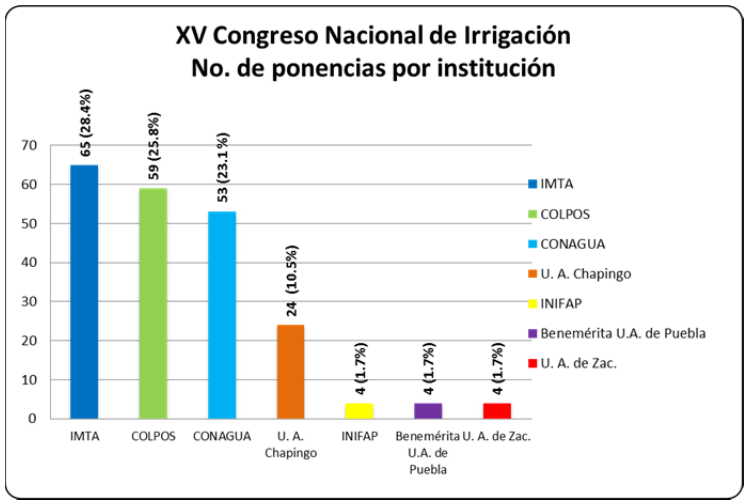


Figura 1.9. Autores por institución en memorias del XV Congreso Nacional de Irrigación (ANEI, 2009)

Otra medida de la producción tecnológica son las patentes registradas. En México es muy reducido el número de patentes producidas por investigadores mexicanos. La política pública del sector ciencia y tecnología, debe promover con mayor determinación la producción científica y tecnológica, así como la colaboración entre los sectores productivos, los gobiernos federal, estatal y municipal, y las instituciones académicas para propiciar sinergias que lleven al desarrollo de patentes, pero sobre todo a mayores niveles de financiamiento e inversión en este estratégico sector.

En la tabla 2.1 se presenta el número de patentes registradas por instituciones académicas en temas relacionados con el manejo del agua en el periodo 2000-2011. Una vez más, puede observarse que son muy pocas las instituciones que producen estos desarrollos tecnológicos.

Institución	Número de patentes
IMTA	20
INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO	12
UNAM	7
CENTROS PÚBLICOS DE IINVESTIIGACIIÓN CONACYT	4
UAM	4
CINVESTAV	2
UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	2
BUAP	1
COLEGIO DE POSTGRADUADOS	1
ININ	1
INSTITUTO DE INVESTIIGACIIONES ELÉCTRICAS	1
INSTITUTOS TECNOLOGIICOS (FEDERALES Y ESTATALES) SISTEMA NACIIONAL DE EDUCACIION TECNOLOGIICA	1
IPN	1
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN	1
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIIS POTOSÍ	1
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA	1
UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO	1
UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA	1
UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL ESTADO DE PUEBLA	1
UNIVERSIDAD REGIOMONTANA	1
TOTAL	**66**

Tabla 1.1. Patentes registradas relacionadas con el agua, 1991-2009.

De estos resultados, obtenidos de congresos nacionales de la especialidad, se deprende que, si bien en México se realiza investigación en numerosas instituciones, en su mayoría se trata de grupos muy reducidos, o de investigadores aislados, lo cual es una importante limitación para el sostenimiento de líneas de investigación productivas a largo plazo. La mayor parte de la investigación se realiza en unas pocas instituciones: el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, la Universidad Nacional Autónoma de México (principalmente en el Instituto de Ingeniería y la Facultad de Ingeniería), Instituto Politécnico

Nacional, Colegio de Posgraduados, Universidad Autónoma Chapingo, Universidad Autónoma Juárez de Tabasco y Universidad de Zacatecas.

Es necesario, como se desprende de este análisis, no solamente incrementar la inversión en investigación y desarrollo tecnológico, sino también incrementar sustancialmente el número de plazas para profesores-investigadores en las instituciones dedicadas a los temas del agua. Las capacidades, y por tanto la producción en ciencia y tecnología se concentra en unas pocas, con el riesgo de desatender los problemas regionales.

Por otra parte, un análisis en bases de datos de publicaciones indexadas realizado por el Centro de Conocimiento del Agua del IMTA, muestra una tendencia similar en cuanto a la concentración de la investigación y desarrollo de tecnología en unas pocas instituciones. La figura 2.10 muestra los resultados, por institución de adscripción, de las publicaciones en estas bases de datos (ISI). Como se observa, el 61% de los autores o coautores de las publicaciones laboran en seis instituciones: la Universidad Nacional Autónoma de México, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, el Centro de Administración del Agua del Tercer Mundo (cuya sede es México), la Universidad Autónoma Metropolitana y la CONAGUA.

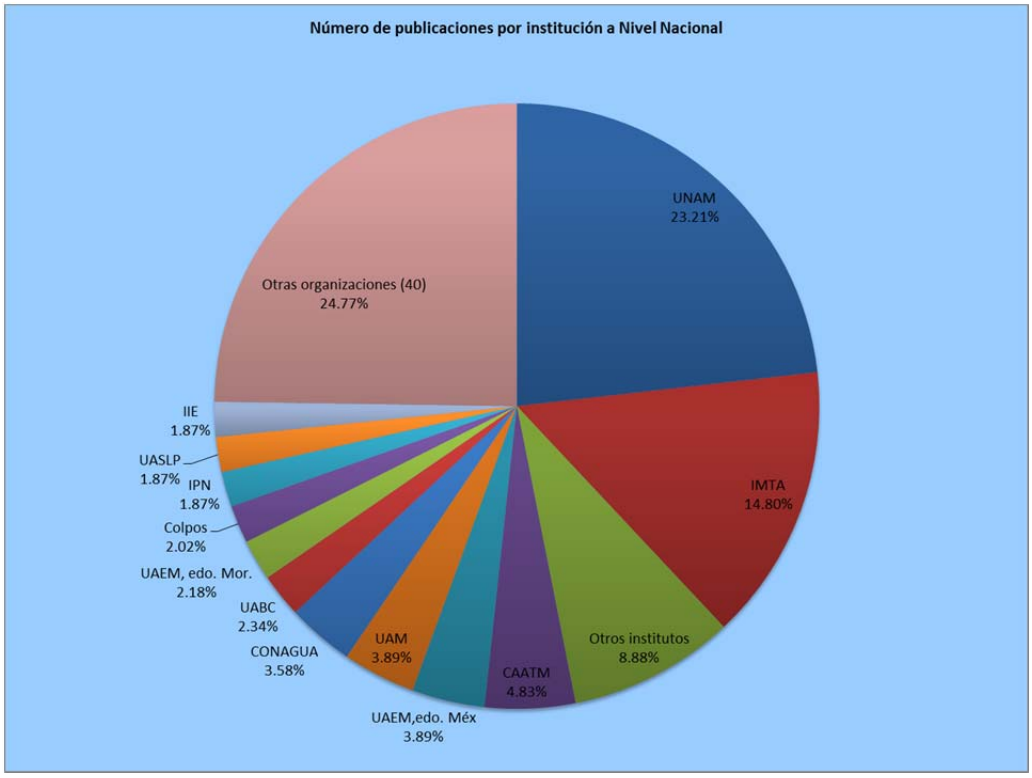


Figura 1.10.- Porcentaje de publicaciones en bases de datos, por adscripción institucional de autores y coautores.

Recientemente Rojas-Sola y Jordá-Albiñana (2011) realizaron un completo análisis bibliométrico en las bases de datos ISI, de la producción científica iberoamericana y con especial énfasis en México. Encontraron que, pese a los limitados recursos humanos y económicos antes citados, la productividad de los especialistas mexicanos en los temas de ingeniería hidráulica y recursos hídricos (*water resources* fue la palabra clave utilizada), México es el país con mayor producción en publicaciones técnico-científicas, por encima incluso de España y Portugal, como se muestra en la tabla 2.2

País	Artículo	Revisión	Comunicación a congreso	Carta	Material editorial	Corrección	Resumen de congreso	Item biográfico	Items nuevos	Total
Argentina	278	3	165	6	7			2		461
Bolivia	29		6		2					37
Brasil	310	4	97		8	3				422
Chile	182	3	111		6		5			307
Colombia	72	1	49		2					124
Costa Rica	12	1	14		2					29
Cuba	41		35		1					77
Ecuador	34	1	11		1		1			48
El Salvador	2		2							4
España	419	7	202		13	1				642
Guatemala	2		1							3
Honduras	2		2							4
Jamaica	16		5						1	22
México	712	33	242	1	29	4			2	1 023
Nicaragua	10	2	3			1				16
Panamá	17	1	7							25
Paraguay	1									1
Perú	29		4		1					34
Portugal	405	13	400	1	22	1	3			845
Trinidad y Tobago	2									2
Uruguay	17	1	24		1					43
Venezuela	50	2	17		2					71
	2 642	72	1 397	8	97	10	9	2	3	

Tabla 1.2. Distribución de los trabajos de la categoría “water resources” en Iberoamérica, 1997-2008 (Rojas-Sola y Jordá-Albiñana, 2011).

Los resultados muestran que existe una clara predominancia del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, entre instituciones de investigación, y de la Universidad Nacional Autónoma de México, entre Universidades. En la tabla 2.3 se muestran las publicaciones por universidad en México, y se observa que la UNAM publica el 26.01% de los trabajos, seguido por las Universidades Autónomas del Estado de México y de San Luis Potosí, con el 4.83% cada una. En el caso de Instituciones que realizan investigación, el IMTA produce el 34.85% de las publicaciones, seguido por la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Federal de Electricidad, con 5.9% y 5.16% respectivamente.

Universidades	Núm. de trabajos en los que participa	Porcentaje sobre el total (%)
Universidad Nacional Autónoma de México	97	26.01
Universidad Autónoma del Estado de México	18	4.83
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	18	4.83
Universidad Autónoma Chapingo	11	2.95
Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco	7	1.88
Universidad Autónoma de Baja California	5	1.34
Universidad Autónoma de Sinaloa	5	1.34
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco	5	1.34
Universidad Autónoma de Yucatán	4	1.07
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	4	1.07
Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa	3	0.80
Universidad Autónoma Metropolitana – México, D.F.	2	0.54
Universidad Autónoma de Nuevo León	2	0.54
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	2	0.54
Universidad Autónoma de Querétaro	2	0.54
Universidad Autónoma de Chihuahua	2	0.54
Universidad Autónoma de Aguascalientes	2	0.54
Universidad Juárez del Estado de Durango	2	0.54
Universidad de Guadalajara	2	0.54
Universidad de Las Américas-Puebla	2	0.54
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez	1	0.27
Universidad Autónoma de Guerrero	1	0.27
Universidad Autónoma de Tamaulipas	1	0.27
Universidad Autónoma de Zacatecas	1	0.27
Universidad Autónoma del Estado de Morelos	1	0.27
Universidad Popular de la Chontalpa	1	0.27
Universidad de Guanajuato	1	0.27
Universidad de Sonora	1	0.27
Universidad CETYS	1	0.27

Cuadro 1.3. Universidades con trabajos publicados 1997-2008 (Rojas-Sola y Jordá-Albiñana, 2011).

Dichos autores concluyen que la mayoría de la la producción científica en los temas de recursos hídricos e ingeniería hidráulica se genera en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y en la Universidad Nacional Autónoma de México. El cuadro 2.4 muestra las instituciones de investigación con trabajos publicados.

Instituciones de Investigación	Núm. de trabajos en los que participa	Porcentaje (%)
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)	130	34.85
Comisión Nacional del Agua (Conagua)	22	5.90
Comisión Federal de Electricidad (CFE)	20	5.36
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP)	16	4.29
Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)	15	4.02
Colegio de Postgraduados (Colpos)	13	3.49
Instituto Politécnico Nacional (IPN)	12	3.22
Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)	7	1.88
Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua (TW)	6	1.09
Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV)	3	0.80
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM)	3	0.80
Instituto Tecnológico de Sonora (Itson)	3	0.80
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)	2	0.54
Instituto Tecnológico de Aguascalientes (ITA)	2	0.54
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR)	2	0.54
Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA)	2	0.54
Instituto de Ecología, A.C. (Inecol)	2	0.54
Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (Cenidet)	1	0.27
Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE)	1	0.27
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (Cicicmar)	1	0.27
Instituto Tecnológico de Durango (ItDurango)	1	0.27
Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ)	1	0.27
Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT)	1	0.27
Centro de Bachillerato Tecnológico	1	0.27
Instituto de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de Sonora	1	0.27
International Water Management Institute (IWMI)	1	0.27
Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario (CBTA)	1	0.27
Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo"	1	0.27
Centro de Investigación sobre la Sequía (CEISS)	1	0.27
Centro Nacional de Investigación para Producción Sostenible (Cenapros)	1	0.27

Cuadro 1.4. Instituciones que realizan investigación con trabajos publicados (Rojas-Sola y Jordá-Albiñana, 2011).

También anotan como un hecho a destacar que casi el 81% de la producción científica de México y el 33.51% de la del total de Iberoamérica fue publicada en la revista *Tecnología y Ciencias del Agua antes Ingeniería Hidráulica en México*, editada por el IMTA, lo que la convierte en la principal revista científica del tema para los investigadores de la región.

En resumen, considerando los diferentes estudios realizados, se puede decir que, con una clara preeminencia de las dos primeras, la capacidad de investigación y desarrollo tecnológico en materia de agua en México se concentra en diez instituciones: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Colegio de Posgraduados, Instituto Politécnico Nacional, Universidad Autónoma Metropolitana, Universidad Autónoma del Estado de México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Universidad de Zacateas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, y el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias. En muchas otras instituciones se producen trabajos de manera aislada, por pequeños grupos o por investigadores aislados.

De lo dicho hasta aquí resulta evidente que la inversión en ciencia y tecnología en México es insuficiente, pero es muy baja especialmente en el sector medio ambiente, en el que se incluye al agua, con apenas 1.4% de la inversión federal. No obstante, la producción de los investigadores mexicanos es la más elevada de Iberoamérica en recursos hídricos e ingeniería hidráulica (primero y segundo lugar, respectivamente), lo que los define como los más productivos de la región. Un aumento en la inversión y número de investigadores sin duda permitiría un despegue importante de la producción en conocimiento e innovación.

Actualmente, la baja inversión en ciencia y tecnología obliga a las instituciones a obtener recursos adicionales por la vía de prestación de servicios tecnológicos. Se debe buscar un balance, pues si por una parte este esquema favorece el contacto de los investigadores y tecnólogos con problemas reales, por otra limita seriamente su capacidad de desarrollar conocimiento e innovación.

De mantenerse esta tendencia en la inversión y plantillas de investigadores, la brecha de conocimiento e innovación con países desarrollados continuará aumentando, así como con algunos países en desarrollo que han aumentado más que México su inversión en ciencia y tecnología, como Brasil.

La investigación y desarrollo tecnológico en materia de agua se concentra en diez instituciones en México, lo que ocasiona entre otros efectos la carencia de grupos que atiendan la problemática

específica de las regiones hidrológicas. Por ejemplo, por el sitio de ubicación de algunas de las principales instituciones, una parte importante de la investigación y desarrollo tecnológico se concentra en la problemática del valle de México.

El factor limitante más importante para el desarrollo del subsector ciencia y tecnología del agua, sin embargo, es el bajo número de investigadores. Es indispensable la creación de un número mayor de plazas en las instituciones, fortaleciendo las que actualmente ya tienen grupos consolidados, y creando o fortaleciendo otros grupos en instituciones a nivel regional.

2 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS PARA LA GESTIÓN SUSTENTABLE DEL AGUA EN MÉXICO

Como se desprende del capítulo anterior, los recursos humanos, de infraestructura y económicos para la investigación, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos en materia de agua en México, son insuficientes para atender la compleja problemática actual y la prevista en el horizonte 2030. Razón principal para que los resultados de estas actividades se orienten a las prioridades del agua en México. El presente capítulo refleja esas prioridades.

En ese sentido, para alcanzar el objetivo general de la sustentabilidad hídrica en México en un horizonte de planeación al año 2030, la Comisión Nacional del Agua ha elaborado un amplio ejercicio de planeación denominado Agenda del Agua 2030, en el que se ha definido una visión del agua en México al final de ese periodo. Como resultado de ese ejercicio, se han identificado diversas iniciativas, las cuales se agrupan en ejes temáticos que permitan ordenar y priorizar las necesidades más apremiantes, y planear y programar las acciones, proyectos y programas, así como los recursos financieros necesarios distribuidos anualmente para lograr dicho objetivo de sustentabilidad hídrica. La Agenda del Agua 2030, y las iniciativas enunciadas en ella, se han considerado ampliamente en la definición de las líneas de investigación que se enumeran a continuación, ordenadas por temas prioritarios.

El mayor reto que enfrenta la gestión del agua en México es poder equilibrar la oferta y la demanda de agua de forma sustentable. Si se compara la demanda con la disponibilidad natural del agua, se encontrará que en muchas regiones hidrológicas el uso de este recurso no es sustentable, situación que, de no remediarse, se incrementará en el futuro con graves consecuencias para el desarrollo social y humano de los ciudadanos. Actualmente, millones de mexicanos no cuentan aún con servicios adecuados de agua potable y saneamiento.

La falta de un adecuado tratamiento de las aguas residuales; sean industriales, de origen doméstico o agrícola, ha ocasionado que un número importante de corrientes y otros cuerpos de agua registren índices de contaminación de diversa magnitud, en algunos casos clasificada como “muy contaminada”.

Los asentamientos humanos, la concentración urbana y la variabilidad climática, por otra parte, han incrementado la vulnerabilidad de muchas poblaciones ante eventos hidrometeorológicos extremos, sean sequías o precipitaciones intensas.

Se prevé que el crecimiento demográfico, que se mantendrá al menos hasta las proximidades del año 2030, así como la concentración en grandes núcleos urbanos, que experimentan ya condiciones de escasez hídrica, así como el fenómeno del calentamiento global, aumentarán las presiones sobre el recurso hídrico. Otro factor relevante en el futuro, será la necesidad de una mayor producción de alimentos, que debe lograrse aun considerando menor disponibilidad de agua, como se desprende de los escenarios climáticos y del crecimiento que experimentará la demanda de agua y de dichos productos.

El panorama actual del agua en nuestro país, así como los escenarios futuros, han motivado a diversas instituciones y dependencias como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, entre otros, a conducir procesos de planeación prospectiva y participativa, los cuales han culminado en propuestas e instrumentos de política pública como lo es la “Agenda del Agua 2030”, con el propósito de integrar la política hídrica de México para lograr la sustentabilidad hídrica en el largo plazo[2].

En estos ejercicios han participado la sociedad civil, especialistas y expertos en la materia, instituciones académicas y gremiales, y los gobiernos estatal, municipal y federal. Como resultado, se han generado propuestas que contribuyen al desarrollo de un instrumento de planeación de largo plazo que sustente la política pública hídrica y proponga las acciones para su cumplimiento, sin detrimento de los objetivos

[2] Para una visión detallada de la situación del agua en México, puede consultarse el texto “Estadísticas del Agua en México, edición 2010”, disponible en el sitio de Internet de la CONAGUA, www.conagua.gob.mx

de corto y mediano plazos contenidos en el PND y PNH. En particular, la Agenda del Agua 2030 es uno de los documentos más importantes de carácter indicativo para la futura gestión del agua en México, que apoye a los instrumentos oficiales mencionados dentro del Sistema Nacional de Planeación, al cual debe ceñirse la estrategia del subsector de ciencia y tecnología del agua.

En particular, el futuro deseado del agua en México en el horizonte 2030, requiere de instrumentos de planeación como la Agenda del Agua, si bien sus cuatro ejes temáticos: cuencas en equilibrio, ríos limpios, cobertura universal, y asentamientos seguros frente a inundaciones catastróficas, pudieran ser complementados a la luz de nuevos elementos de gestión. Desde luego, existen temas que no pueden ser agrupados en estos ejes, por lo que también se deben considerar iniciativas de carácter general que puntualicen la atención de los problemas en cada sector, como las que se presentan a continuación

2.1 Agua y Ciudades

En México, la mayoría de la población vive en zonas urbanas. Debido a las grandes diferencias entre las ciudades, su número de habitantes y su economía – por ejemplo, 56 zonas metropolitanas, asientan casi el 70% de la población (CONAPO), - la prestación de los servicios difiere en calidad y cobertura, lo que enfrenta al país a uno de los retos más grandes de la gestión del agua.

El proceso de concentración de la población en las localidades urbanas ha dado como resultado su acelerado crecimiento, lo que ha implicado fuertes presiones sobre el medio ambiente y las instituciones, derivadas de la demanda incrementada de servicios. La demanda actual de agua para consumo de todos los usos a nivel nacional asciende a 78 mil hm^3. De este total 67 mil hm^3 se extraen de fuentes sustentables, el resto se obtiene principalmente de la sobreexplotación de acuíferos. Se estima que en el año 2030 la demanda se incrementará a 91.2 miles millones de metros cúbicos, y será necesario proveer el servicio de agua potable a 36.8 millones de habitantes adicionales más.

En 2010, la cobertura de agua potable fue de 91.3%, y la de drenaje de 89.9%, si bien en este último rubro no todos los usuarios cuenta con alcantarillado, sino que se emplean otros métodos de

disposición de las aguas residuales, por ejemplo fosas sépticas. Como se sabe, sólo se trata alrededor del 42% de las aguas residuales colectadas, por lo que otro reto importante en el horizonte de largo plazo es incrementar ese porcentaje en ciudades y zonas periurbanas, y también en las zonas rurales pues, por otra parte, el promedio nacional difumina el hecho de que las coberturas de estos servicios en el medio rural son mucho menores que las de las zonas urbanas. Asimismo, el nivel requerido de tratamiento por las Normas Oficiales es aún bajo, por lo que será necesario revisar esa normatividad, para mejorar efectivamente la calidad en los cuerpos de agua. Finalmente, otro reto es proveer a los organismos operadores de los recursos humanos y financieros que garanticen la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

En general, los especialistas e instituciones académicas han avalado las prioridades definidas en la agenda 2030, como son incrementar las redes de agua potable y alcantarillado, construir infraestructura para nuevas fuentes de abastecimiento, incluyendo la cosecha de agua de lluvia y tecnologías apropiadas para el abastecimiento y tratamiento de aguas residuales en el medio rural. Sin embargo, hay también temas colaterales que deben sustentar acciones concretas de mejora como, por ejemplo, incrementar la eficiencia global de los organismos operadores y capacitar a sus cuadros técnicos y administrativos; fortalecer los programas de cultura del agua involucrando a los usuarios, las empresas, y las instituciones y dependencias públicas; desarrollar programas de uso eficiente sustentadas en políticas tarifarias que desincentiven el desperdicio; hacer un esfuerzo para instalar medidores interdomiciliarios y asegurar que su lectura se refleje en estructuras tarifarias eficientes y sustentables, y señaladamente, establecer los esquemas financieros necesarios para garantizar su operación sustentable

2.2 Agua y medio rural

Las coberturas de los servicios de agua potable y saneamiento en el medio rural son mucho menores que aquéllas de las zonas urbanas. Si bien la cobertura nacional de agua potable alcanza 91.3%, casi la totalidad de los once millones de habitantes que aún no tienen acceso a dicho servicio viven en

zonas rurales, si bien una proporción de ellos lo hace en zonas periurbanas. Las razones de lo anterior responden a varias circunstancias específicas como son la alta dispersión de los asentamientos humanos, especialmente en poblados y rancherías de menos de cien habitantes, y localidades de entre cien y quinientos habitantes; la inexistencia de una autoridad central u organismo operador que pueda prestar y costear los servicios en el medio rural, debido a los altos costos de la infraestructura tradicional que no puede desarrollar economías de escala; las bajas cuotas o tarifas de agua que pueden ser cobradas a los usuarios; la escasez de recursos financieros, y la limitación de los provenientes de subsidios municipales, estatales y federales así como la falta de personal capacitado, son varios de los retos que deben resolverse lo antes posible. La operación de los sistemas de abasteciemiento y saneamiento rurales requieren, asimismo, de esquemas especiales de organización social para su operación.

Deben privilegiarse la investigación y el desarrollo de tecnología apropiada, así como métodos adecuados a las condiciones de disponibilidad y uso del agua en las comunidades rurales, para proponer soluciones prácticas lo más económicas posible para que los municipios y la población pueda acceder a ellas.

La calidad del agua abastecida en el medio rural es también motivo de preocupación por sus efectos en la salud pública, pues no existen los medios para conocer con regularidad la calidad a partir de análisis de laboratorio en fuentes rurales de abastecimiento, a diferencia de aquellos practicados por norma para los organismos operadores en las zonas urbanas. En este sentido, la tecnología debe proveer sistemas de potabilización sencillos, eficientes y de bajo costo y mantenimiento.

2.3 Agua y medio ambiente

Hay una relación directa y muy estrecha entre agua, medio ambiente y condiciones hidrológicas, pues ésta define las condiciones de disponibilidad en el territorio nacional, sean de escasez o abundancia. Se ha mencionado que cerca del 70% del territorio mexicano se ubica en zonas áridas o semiáridas

donde los principales problemas se relacionan a las sequías, pues la precipitación anual está entre 0 y 300 mm.

El reto de escasez de agua para el medio ambiente se agudiza en algunas regiones al experimentarse graves asimetrías entre disponibilidad de agua, crecimiento económico y poblacional, y las oportunidades económicas que percibe la población, ya que ha habido un importante crecimiento de la demanda de agua. De acuerdo con instituciones como el INE, es fundamental conocer los impactos en la degradación ambiental y, en particular, sobre la cantidad y calidad de recursos hídricos a nivel cuenca para identificar medidas de mitigación y adaptación efectivas.

Es también importante establecer medidas de control de la demanda de agua a partir de una eficiente administración del recurso, para mitigar y corregir los efectos de la sobreexplotación de los acuíferos en zonas de escasez, así como la extracción al límite de los recursos hídricos superficiales en detrimento de las fuentes, la vegetación y la fauna.

Los ríos como conductores de agua, nutrientes, energía, materias orgánicas y contaminantes, constituyen ecosistemas de gran importancia en las cuencas del país. Los fenómenos de inundación observados en las últimas décadas, algunas veces resultan de una mala planeación de la infraestructura hidráulica y asentamientos humanos. Por ello, la investigación sobre ríos debe dar prioridad a su dinámica geomorfológica, con el fin de reducir riesgos por inundaciones. En ese mismo sentido debe priorizar la recuperación de los ecosistemas riparios, el análisis y conservación de caudal ecológico, y la recuperación de la fauna endémica, entre otros temas.

Siendo que los ríos no se encuentran aislados de otros cuerpos de agua superficial (lagos, lagunas, humedales) y subterránea, el análisis de estas relaciones es vital para obtener una visión integral de la situación de los recursos hídricos en el país en los aspectos fundamentales de cantidad – disponibilidad y calidad – y contaminación del recurso.

En cuanto a los retos de México en materia de agua y medio ambiente, podemos complementar lo mencionado anteriormente en relación con el caudal ecológico y las sustancias tóxicas emergentes:

Si bien las obras hidráulicas de captación, conducción, almacenamiento, distribución y tratamiento han perpetuado el concepto de extraer y utilizar al máximo el agua disponible en los cuerpos de agua, no han propiciado el diseño de políticas que regulen los flujos y volúmenes aprovechados en función de las necesidades y los límites naturales impuestos por las condiciones de reproducción de la flora y la fauna en los cuerpos de agua. Por ello deben hacerse estudios que determinen el caudal necesario y ayuden a restaurar y mantener el hábitat ripario en los cauces.

En lo que se refiere a los contaminantes emergentes, compuestos y sustancias químicas tóxicas, es impostergable desarrollar investigación que permita diseñar protocolos para determinar su presencia en cuerpos de agua, 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. Asimismo, se deben diseñar sistemas de tratamiento de los contaminantes emergentes, al menos los más persistentes en el ambiente y potencialmente peligrosos para la salud, a fin de evitar su presencia en el abastecimiento para consumo humano.

Por otra parte, se mencionó que el enfoque analítico en base al número de sustancias es muy costoso y su aplicación virtualmente imposible, pero la investigación debe permitir nuevas técnicas de detección toxicológica a partir de la respuesta biológica de organismos vivos ante cierto tipo de contaminante que debe controlarse.

La contaminación de los cuerpos de agua es producto de las descargas de aguas residuales sin tratamiento, ya sea de tipo doméstico, industrial, agrícola, pecuario o minero. A finales del año 2001, más de 70% de los cuerpos de agua del país presentaban algún grado de contaminación. Las cuencas que destacan por sus altos índices de contaminación son la del Lerma-Santiago, la del Balsas, y la de aguas del Valle de México y el sistema Cutzamala (Conagua, 2004a). Los lagos de Chapala, Pátzcuaro,

Cuitzeo, Zirahuén, Camécuaro, Cajititlán, Zapotlán y Sayula presentan diversos grados de contaminación (Conagua. Estadísticas del Agua 2010).

Las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales e industriales. Las primeras corresponden a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillado municipales urbanos y rurales, en tanto que las segundas son aquellas procedentes de la industria y descargadas directamente a los cuerpos receptores de propiedad nacional, como es el caso de la industria autoabastecida.

Al 2009, se trató el 37.1% de las aguas residuales municipales que se generaron y se trató el 19.3% de las aguas residuales no municipales, incluyendo a la industria. En ese año, las 2,029 plantas de tratamiento de aguas residuales en operación en el país trataron 88.1 m³/s, es decir el 42% de los 209.1 m³/s recolectados en los sistemas de alcantarillado, y en el mismo año , las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales trataron 36.7 m³/s de aguas residuales, en 2,186 plantas en operación en todo el país.

En 2010, se trató el 43.4% de las aguas residuales municipales colectadas en los sistemas de alcantarillado, que equivalen a 3.973 miles de millones de metros cúbicos. Se estima que para 2030 se requerirá infraestructura para dar tratamiento a 7.157 miles de millones de metros cúbicos de aguas residuales municipales, lo que representa un 180% más de lo que se trata en la actualidad. En lo que respecta a las aguas residuales industriales, se estima que en 2030 se generarán 2.1 miles de millones de metros cúbicos, por lo que el volumen adicional que requerirá tratamiento será del orden de 1.8 miles de millones de metros cúbicos, es decir ochenta y cinco porciento más.

Llevar a cabo las acciones necesarias para cubrir la demanda de agua para todos los usos, sin aumentar la sobrexplotación de fuentes y tratar la totalidad de aguas residuales generadas, implica en términos del horizonte de planeación 2030, “cerrar las brechas entre demanda y oferta”, así como entre “volúmenes descargados de aguas residuales y su tratamiento”, lo cual implica la construcción de una importante cantidad de plantas de tratamiento, además de redes de alcantarillado. Asimismo, se

requerirá mejorar la gestión de los organismos prestadores de estos servicios, dándoles sustentabilidad técnica y financiera. Es importante el desarrollo y aplicación de tecnologías de tratamiento más eficientes y económicas, y apropiadas a las condiciones regionales.

Para lograr lo anterior, la cantidad de recursos financieros y su calidad en términos de fuente, aplicación y oportunidad temporal y geográfica, debe lograr tres aspectos cruciales, a saber: suficiencia, eficiencia y sostenibilidad del gasto.

2.4 Agua y Producción de Alimentos

Mejorar la investigación y desarrollar tecnología para lograr el uso eficiente del agua en la agricultura, reviste una importancia invaluable para el logro de la seguridad alimentaria del país. Este es el mayor reto de la política hídrica, al ser este uso el que más consume el agua.

La disponibilidad del agua en México es el factor que caracteriza las limitaciones de los sistemas agrícolas del país, pues como se ha mencionado, en el norte se encuentran zonas de muy baja disponibilidad mientras lo contrario sucede en el sur. Adicionalmente, la distribución de aguas superficiales de los ríos en el norte ha estresado y presionado la disponibilidad sobre todo en Sonora. Baja California, Chihuahua y Tamaulipas, entre otros estados.

La crisis de agua y alimentos, se relaciona tanto con los problemas de disponibilidad de agua a nivel regional, como con fenómenos meteorológicos extremos que ocasionan periodos recurrentes de sequía sobre todo en el norte del país, lo que ha conllevado largos periodos de sobrexplotación de las fuentes.

Sabemos que para el año 2050 se requerirá producir 30% más de alimentos, con menor cantidad de agua y tierra dadas por la creciente demanda y la distribución entre usos más productivos, eficientes y rentables, así como el cambio de uso del suelo. La competencia por el agua será férrea entre usos de más valor como por ejemplo los productos de exportación y la producción de biocombustibles. Ante un

mercado interno comprimido, esta situación dinámica lejos de atenuarse en el largo plazo, puede llegar a profundizarse.

En este sentido, las áreas agrícolas bajo riego en los estados norteños como lo son Sonora y Sinaloa, e incluso Baja California, Chihuahua y Coahuila son trabajadas bajo el incentivo del máximo rendimiento y ganancia que la agricultura de exportación permite, y cuya producción sobre todo en hortalizas y frutales, se orienta a los mercados extranjeros, en particular el estadounidense. Bajo ese tipo de producción se desarrolla una relación entre tipos de agricultura y grado de sobrexplotación de los acuíferos, relación que es aún mayor al no pagar derechos por el uso del agua, pues los pagos por cuotas por los servicios del riego a las asociaciones de usuarios, no compensan el costo de oportunidad del recurso, ni los costos por sobrexplotación y posible agotamiento de los acuíferos. La investigación a este respecto, es igualmente necesaria y urgente.

Otro de los factores críticos para el uso del agua en la agricultura de riego, es la productividad y eficiencia en el uso del recurso, misma que debe ser incrementada para producir más con menos agua, lo cual puede lograrse principalmente a partir de la innovación tecnológica, cuyo principal reto en el caso de la producción de alimentos está vinculada a sistemas de uso del agua más eficientes, implementos ahorradores y paquetes tecnológicos que conserven y ahorren agua, incrementen la producción y, en adición, sean rentables y asequibles para que se puedan sustentar soluciones que permitan lograr el uso eficiente y sostenible del agua en el largo plazo.

Lograr esto último, conlleva acciones inmediatas que en el caso del uso del agua para producción de alimentos en el noroeste, norte y noreste donde están los graneros de México, implican que cuanto antes, se realicen estudios sobre las condiciones de disponibilidad del agua en función de los productos agrícolas y se tomen en cuenta desde ahora los efectos del cambio climático en aquéllas regiones donde se pronostica una mayor disminución de las lluvias y sequías más frecuentes e intensas.

El uso eficiente y sostenible en la agricultura, sobre todo de riego, es la mejor respuesta a la escasez del agua. De ello depende en gran medida garantizar el sustento del sistema de alimentación básica para la población y permitir a los sectores de la población que viven en marginación y pobreza, sean urbanos o rurales, el acceso a alimentos accesibles en precio, cantidad y calidad. Ya se mencionó la importancia que la producción de autoconsumo de alimentos tiene para las zonas rurales y, en ese sentido, la necesidad de desarrollar una batería de tecnologías apropiadas de alta productividad y ahorro de agua.

Una alternativa a la escasez regional del agua y la necesidad de detener la sobrexplotación de los acuíferos, es la que ofrecen los estados más al sur de México, donde aún existen grandes extensiones de tierras agrícolas explotables, si bien es ahí más precisamente, en donde falta la organización social, institucional y comunitaria que permita, ante el fraccionamiento y atomización de la propiedad agrícola, lograr los acuerdos para incentivar la producción eficiente de corte empresarial. Por ejemplo, en la Región Pacífico Sur existen aproximadamente 1.3 millones de hectáreas susceptibles de labranza y riego. Aunque se ha mencionado que los suelos son superficiales y se ha asegurado que no son aptos para una agricultura de grandes rendimientos, esto no se ha comprobado científicamente. Por otra parte, subsiste el reto de lograr una mayor superficie agrícola con las mínimas afectaciones al medio ambiente, lo que supone el desarrollo de tecnología ambientalmente más amigable.

En el sur sureste del país, la organización social de los agricultores es el objetivo a vencer para aprovechar millones de hectáreas para la agricultura, bajo esquemas de uso sustentable del agua. La alternativa de reconvertir los patrones de cultivos de una economía agrícola de exportación a una economía agrícola para la autosuficiencia alimentaria del país debe ser analizada con detenimiento. Esta posibilidad, puede complementarse con una política de reubicación de las prácticas agrícolas con mayor demanda de agua, a tierras desaprovechadas como lo son las tierras de la Región Pacífico Sur.

Desde el punto de vista tecnológico, la región sureste plantea importantes retos para el manejo de mantos acuíferos y tecnificación.

2.5 Agua y energía

En México, el agua y la energía son recursos escasos inmersos en entornos de crisis estructurales cada vez más profundas. Se destinan grandes volúmenes de agua para generar energía y cantidades importantes de energía para abastecer y tratar el agua. Esta interrelación es tan estrecha, que la disponibilidad de uno limita el suministro del otro, mientras que ambas son fundamentales para el desarrollo socioeconómico y el bienestar de la población.

De los objetivos de la Estrategia Nacional de Energía, destaca el de “Reducir el impacto ambiental del sector energético”. Esto debe lograrse al disminuir el impacto de la operación del sector en el medio ambiente, incluido un uso más eficiente del agua y reducir los efectos derivados de las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, al igual que otros contaminantes, lo que implica hacer un uso eficiente de los recursos.

Si bien la agenda nacional y local muestra preocupación por la crisis energética y los efectos de la inestabilidad de precios del petróleo, no se ha contemplado en toda su dimensión el alcance de la crisis de agua, ni se ha atendido el hecho preocupante de que la disponibilidad de agua está limitando las soluciones para generar más energía y que los problemas de la generación de energía, aunados al alza de sus precios, restringen el suministro de agua y su tratamiento.. No se puede abordar el problema de generación de energía sin analizar los efectos en los recursos hídricos y viceversa. La solución exige nuevas políticas públicas e instrumentos, y una visión científica y tecnológica integral de ambos sectores.

La generación hidroeléctrica es la segunda fuente de energía renovable más importante del mundo y la primera a nivel comercial al ser la más económica y eficiente en términos del ciclo de vida de su infraestructura. Adicionalmente, sus características permiten la generación a escala de grandes centrales o bien de instalaciones pequeñas o minicentrales hidráulicas que provocan un impacto ambiental menor, razón por la cual en los últimos años se han difundido intensamente, si bien su

proliferación en una cuenca puede producir efectos acumulativos igualmente nocivos, que ponen a la generación hidroeléctrica, pese a su carácter limpio, en conflicto con la visión ambientalista de conservación del medio natural.

En el caso de la fuerza mareomotriz, las variaciones del nivel del mar subsiguientes a las mareas son susceptibles de aprovechamiento al transformar la energía potencial en cinética. En varias partes del mundo se han realizado numerosas pruebas y construido centrales eléctricas mareomotrices de carácter experimental, aprovechando, donde es suficiente, la diferencia entre marea alta y marea baja. Otra posibilidad conocida es la generación y captación geotérmica a partir de aguas termales; en algunos lugares brotan con abundancia y se aprovechan desde hace tiempo para cubrir las necesidades de calefacción y agua caliente. Pero es posible ir más allá y generar electricidad a partir de centrales térmicas que utilicen tal diferencial. Teóricamente es posible inyectar agua fría, calentarla en la profundidad, recuperarla y generar electricidad. Este es el principio de las centrales geotérmicas.

Otra alternativa viable es obtener biogás a partir del aprovechamiento anaeróbico del tratamiento secundario, como es el caso de la planta de tratamiento con sistema de cogeneración para la producción de electricidad y calor. La recientemente inaugurada Planta Municipal de Tratamiento de Aguas Residuales de León (mayo 2011), podrá suministrar hasta el 75 % de la energía que consume y recuperar la inversión durante los próximos 10 años, con los ahorros en la factura eléctrica. De acuerdo con el Instituto de Investigaciones Eléctricas, en México existe un potencial de 3,000 MW para generación de electricidad con biogás. Dicho potencial proviene de la recuperación y aprovechamiento del metano a partir de residuos animales, residuos sólidos urbanos y tratamiento de aguas residuales.

Por otra parte, si bien el sector energético es un usuario de alto consumo de agua, el total de agua usada en PEMEX ha crecido sólo ligeramente en los últimos años. En contraste, el porcentaje del uso proveniente de agua tratada pasó del 10% en 2005 a 17% en 2008. Este crecimiento es satisfactorio y se espera que pueda incrementarse aún más en el futuro. En el caso de CFE, el consumo total de agua ha presentado variaciones, pero igualmente el porcentaje que proviene de agua tratada se ha

incrementado, ubicándose en 32% en 2009. Como se observa, estas tendencias favorecen un uso más sustentable del agua.

Por último, una línea de investigación prometedora es la conversión de energía química en eléctrica lo que es posible en ciertos dispositivos electroquímicos denominados células o pilas de combustible (Fuel Cells), donde la electricidad se obtiene a partir de una fuente externa de combustible químico que suele ser hidrógeno o etanol. Una variante reciente de esta tecnología es la célula de combustible microbiana (Microbial Fuel Cell, MFC). En las MFC se utilizan microrganismos para oxidar el combustible, materia orgánica, y transferir los electrones a un electrodo (ánodo), conectado a un cátodo a través de un material conductor que contiene una resistencia.

Como puede apreciarse, las alternativas para lograr una generación de energía eléctrica que sea sustentable y sostenible en el mediano y largo plazos, está fuertemente ligada a la gestión integrada del agua y la energía, y depende críticamente de las acciones coordinadas de los dos sectores y del análisis conjunto de las alternativas de solución a los problemas que enfrentan.

2.6 Gobernanza del agua

Algunos expertos [IMTA: Cátedra UNESCO sobre gobernabilidad del agua y UNAM: Jornadas Universitarias sobre Gestión del Agua] han indicado enfáticamente que la crisis del agua en el mundo, no sólo es resultado de condiciones hidrológicas naturales desfavorables, relacionadas con la ubicación de la población, y las actividades económicas y productivas, sino de la necesidad de alcanzar una mejor gobernanza del recurso relacionada con un marco jurídico y legal, y la necesidad de mayor capacidad de gestión y capacidades institucionales, por parte tanto de las autoridades del agua, incluidos los gobiernos federal, estatal y municipal, como de la saciedad en general.

La buena gobernanza incluye la participación de la sociedad y los diferentes interesados en la gestión del agua, tanto desde el lado de la demanda como de la oferta, el suministro y los diversos servicios que involucra su uso, consumo o aprovechamiento.

En términos de la gobernanza, existen diversas complicaciones en el manejo del agua por la diversidad de condiciones hidrológicas y sociales en las distintas regiones del país, pues las asimetrías mencionadas entre niveles de precipitación, disponibilidad del agua, asentamientos humanos, efectos migratorios, desarrollo urbano, actividad productiva, capacidad financiera y desarrollo económico, entre otros factores, se vinculan directamente con una gran diversidad de condiciones sociales, culturales y ambientales, haciendo más complicada la gestión del recurso.

Por ello, es urgente sustentar el marco jurídico legal del sector y reformar los distintos aspectos de la gobernanza del recurso para poder mejorar y ampliar los servicios, lograr el uso eficiente y responsable del agua, corregir los aspectos que limitan la disponibilidad, así como aumentar la seguridad hídrica de los usuarios en las diferentes regiones del país.

Mejorar la gobernanza del agua es también una tarea urgente si México ha de alcanzar los objetivos planteados en un horizonte de planeación de largo plazo. Ello requiere reformar tanto la normativa del agua, como la propia estructura administrativa e institucional de la gestión hídrica y las funciones, atribuciones y responsabilidades de todos los actores para que se cumplan cabalmente las reglas del juego y se lleven a cabo las acciones prioritarias precisas, vinculadas con los objetivos de desarrollo sostenible del sector de largo plazo, asentados en la capacidad de la autoridad de organizar el desarrollo del sector y lograr su manejo sustentable en armonía con el medio ambiente, la sociedad, la economía y los usuarios. La buena gobernanza le confiere al estado la capacidad para diseñar una política hídrica en beneficio de toda la sociedad, los sectores usuarios, y la actividad económica productiva en concordia con el medio ambiente y las generaciones futuras.

En la mejor gobernanza del agua, la investigación, en especial en ciencias sociales, deberá ser una pieza fundamental.

2.7 Efectos del cambio climático

Las condiciones climatológicas debidas a la ubicación geográfica de México, así como el crecimiento de las zonas urbanas, en no pocas ocasiones desordenado, ocasionan una alta vulnerabilidad de la población en diversas regiones frente a eventos hidroclimatológicos extremos, que pueden convertirse en inundaciones o sequias catastróficas, con el correspondiente daño a la propiedad y riesgo a las vidas humanas.

El cambio climático se vincula a diversos eventos. Entre 1970 y 2009, impactaron las costas de México 177 ciclones tropicales. La mayor parte de los más intensos, en el Atlántico. El Banco Mundial presentó en la ciudad de Copenhague el informe “Desarrollo con bajo uso de carbono para México”, el cual indica que el país enfrenta un alto riesgo por el cambio climático, con respecto a la disponibilidad del agua, el incremento en la frecuencia e intensidad de las tormentas tropicales y posibles inundaciones en ambas costas del territorio”. De acuerdo con estudios del IMTA (Martínez-Austria y Patiño-Gómez, 2011), el cambio climático producirá huracanes más intensos, como ya se ha venido observando en las diferentes entidades del país azotadas por los meteoros Gilberto (1988) Pauline (1997), Keith e Isidore (2002), Emily y Wilma (2005), Stan (2006), Dean y Lorenzo (2007), Dolly en 2008 y Alex (2010) por mencionar algunos. Asimismo, ocurrirán sequías más frecuentes e intensas, con las consecuentes afectaciones en las cuencas hidrológicas.

Para atender este escenario, será necesario un mejor conocimiento e instrumentación meteorológica, con mejores modelos de pronóstico de corto plazo (meteorológicos) y de largo plazo (climatológicos). Asimismo, se requerirá de sistemas de alerta temprana, así como cuantiosas inversiones en infraestructura de protección, que la Agenda del Agua 2030 estima en 107 mil millones de pesos.

2.8 Formación de Recursos Humanos

Para atender cada uno de los retos señalados en este capítulo, serán necesarios más recursos humanos y mejor preparados, en todos los niveles: técnico, profesional y de posgrado.

En lo que hace al nivel técnico, además de cursos de actualización y formación de personal en los temas más urgentes, tales como operación de plantas de potabilización y tratamiento de aguas residuales, diseño y operación de infraestructura hidráulica, será necesario un esfuerzo de profesionalización y reconocimiento mediante la certificación de competencias laborales, que además de asegurar la calidad de los servicios de agua, dé más certidumbre laboral a los técnicos del sector.
Por otra parte, el número de maestros y doctores egresados en temas relacionados con el agua en México es muy reducido, por lo que será necesario el fortalecimiento de los programas existentes, así como la creación de otros en las diversas regiones hidrológicas del país, o bien el establecimiento de extensiones de los posgrados que ya existen y muestran buenos resultados.

Otro aspecto a impulsar en mayor medida en el país en materia de capacitación y formación de recursos humanos, sobre todo considerando que los actuales profesionales tienen importantes cargas de trabajo que les impiden la formación mediante cursos presenciales, será la formación a distancia, por los diversos medios actualmente disponibles, tales como las videoconferencias o los cursos vía internet. Para impulsar este método de enseñanza, será necesaria la formación de mayores capacidades de producción y un número mayor de instructores formados.

En muchas de estas iniciativas la ciencia y tecnología pueden tener una participación importante en la consecución de los objetivos planteados en un programa bajo la óptica de un horizonte de planeación al año 2030, siempre que se cuente con los recursos necesarios. Esta posibilidad queda expresa de manera específica en la iniciativa 34, que establece *"Propiciar que la comunidad científica y tecnológica contribuya de forma crecientemente efectiva a la formulación y despliegue de la política de sustentabilidad hídrica"*, y que de hecho define un objetivo de política para el subsector ciencia y tecnología del agua, en el sentido de que dispone una orientación a las líneas de investigación y desarrollo tecnológico a promoverse en los próximos años.

A continuación se presenta un ejercicio de mapeo de las iniciativas seleccionadas como susceptibles a asociarse con alguna línea de investigación o desarrollo tecnológico a fin de contribuir a su instrumentación dentro del horizonte de planeación 2030.

Temática	Líneas de I&DT
2.1 Agua y ciudades	• Caracterización técnica y normativa de la oferta de agua y análisis de brecha y propuestas de solución entre demanda y oferta, y entre volúmenes de aguas residuales descargados y tratados. • Técnicas y métodos para incrementar la cobertura de agua potable, alcantarillado y saneamiento, y la eficiencia global, física y comercial de los organismos operadores. • Incrementar la cobertura de macro y micro-medición, la instalación económica de medidores interdomiciliarios y la medición y lectura periódica para sustentar estructuras tarifarias eficientes y sustentables, basadas en el consumo. • Desarrollo de programas de capacitación y de estándares de competencia laboral, capacitación y certificación para personal de organismos operadores de agua y saneamiento, incluyendo la formación de cuadros en habilidades técnicas, administrativas, ejecutivas y directivas. • Desarrollo, diseño y validación de metodologías económicas de evaluación, proyectos, y esquemas financieros y tarifarios sustentables, basados en recuperación de costos que desincentiven el desperdicio e incorporen medidas de uso eficiente del agua y permitan lograr la operación sustentable de los organismos operadores. • Diseño y modelos para construir mejores y más eficientes plantas de tratamiento y redes de alcantarillado, y desarrollar sistemas de potabilización sencillos, eficientes y de bajo costo y mantenimiento, incluyendo la atención y tratamiento de contaminantes como plomo, arsénico, flúor y hierro en las fuentes de abastecimiento.
2.2 Agua y medio rural	• Desarrollo de tecnología apropiada, metodología y sistemas para incrementar el abastecimiento y coberturas de agua potable, el tratamiento de aguas residuales y el saneamiento en el medio rural. • Conocimiento del sistema hidrológico y prácticas sociales en cuencas y regiones rurales e indígenas prioritarias e investigación y diseño de tecnología apropiada para el abastecimiento y saneamiento en comunidades rurales. • Modelos de uso eficiente y ahorro de agua y casa ecológica autosustentable en agua y energía para el medio rural. • Innovación mediante tecnologías apropiadas, y estudio y apropiación de modelos organizativos para la gestión del agua en pequeñas comunidades, tanto para la provisión de servicios de agua potable y saneamiento, como para el riego de pequeñas parcelas y la expansión de sistemas de uso del agua eficientes en huertos familiares que incrementen la productividad y eficiencia en el uso del agua agrícola en comunidades rurales.

2.3 Agua y Medio Ambiente	• Estudios de disponibilidad de agua, relación agua y bosque, y zonificación de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas para repoblaciones forestales por regiones climáticas y programas para el desarrollo, adaptación y transferencia de tecnologías de conservación de suelos y agua en bosques, laderas y cauces intermitentes de cuencas prioritarias. • Investigación, diseño e implementación de acciones para la adaptación y adopción social de tecnología y prácticas de conservación en cuencas y microcuencas, incluyendo el desarrollo de propuestas de pagos por servicios ambientales hídricos para la conservación de bosques, suelos y agua, en zonas rurales y urbanas. • Desarrollo, validación y aplicación de metodología para la determinación e implementación del caudal ecológico y el uso de tecnología de la información para registros y análisis de medición de caudales. • Desarrollo de un sistema de evaluación ex-post de programas hídricos mediante indicadores ambientales de medición de la sustentabilidad hídrica para el establecimiento de esquemas y sistemas de supervisión, seguimiento y evaluación de la sustentabilidad hídrica en cuencas, microcuencas y regiones. • Diseño y tecnología para construir infraestructura respetuosa del medio ambiente para nuevas fuentes sustentables de abastecimiento.
2.4 Agua y Producción de Alimentos	• Desarrollo, adaptación y transferencia de tecnologías de uso eficiente, sistemas para su adopción e incremento de la productividad del agua en riego, tecnologías de medición, telemetría y análisis de la información, entre otras. • Evaluación científica y tecnológica de usos agrícolas de mayor valor agregado y eficiencia en el uso del agua, desarrollo de variedades resistentes al estrés hídrico para promover la sustitución y reconversión productiva de cultivos, y la priorización e incremento de inversiones en modernización tecnológica y sistemas de riego eficientes en zonas agrícolas acorde a la disponibilidad real de agua en cuencas. • Estudios específicos de contaminación en distritos y unidades de riego, y uso de geomática y la aplicación de sistemas de información para detección de contaminación difusa. • Estudios de seguimiento y determinación de la huella hídrica en productos, cultivos y usos para proponer políticas públicas de uso y transformación eficiente entre usos. • Análisis de estructura, costo-beneficio y eficiencia de subsidios para compensar la inversión en modernización de sistemas de riego y uso eficiente, y determinar y sustentar el pago de tarifas y derechos de uso del agua en la agricultura,. • Formas de organización social de los agricultores. • Estudios de las condiciones de disponibilidad del agua en función de las demandas de los cultivos y productos agrícolas y diseño de sistemas de drenaje agrícola eficientes y de bajo costo.

2.5 Agua y Energía	• Adaptación de tecnologías limpias y de bajo costo para la generación de energía eléctrica, la desalación de agua salobre y el bombeo de agua urbano, agrícola o industrial. • Reúso y tratamiento de agua, incluida la residual, para ser usada en procesos de generación de energía como en torres de enfriamiento, sistemas de calor y sistemas híbridos aire-agua para enfriamiento en plantas generadoras. • Desarrollo de tecnologías de uso, reúso y tratamiento de agua municipal, industrial y agrícola para ahorros en energía para su extracción, conducción, distribución y uso, y de tecnologías limpias para la potabilización y el tratamiento de agua menos intensivas en el consumo de energía y diseño de sistemas de desinfección de agua utilizando la energía solar y la tecnología fotovoltaica. • Medición hidráulica y de la calidad del agua en plantas hidroeléctricas, refinerías, plataformas marinas, plantas termoeléctricas y geotérmicas. • Investigación, modelos y lineamientos ecológicos de casas habitación sustentables en uso de agua y energía para el medio urbano y rural. • Obtención de biogás a partir de la depuración biológica de aguas residuales en plantas de tratamiento y disminución del uso de energía específica por medio de membranas para el tratamiento de agua y desalinización.
2.6 Gobernanza del Agua	• Desarrollo de lineamientos legales, modelos y sistemas de gestión, información y reglamentación del uso conjunto aguas superficiales-aguas subterráneas, y de gestión y reglamentación de aguas subterráneas y superficiales, incluidos sus sistemas de información geográfica y metodologías de comunicación para la gestión sustentable. • Desarrollo de planes de gestión integrada de los recursos hídricos por cuenca, incluyendo modelos de planeación, participación y seguimiento de la sociedad civil para la rendición de cuentas de consejos de cuenca, incluida la evaluación de la aplicación de políticas públicas, impacto social y los sistemas de identificación y manejo de conflictos por agua. • Desarrollo de sistemas y métodos de sensibilización social para sustentar el valor económico del agua y diseñar programas para fomentar el pago volumétrico tanto de los diversos usos, como de los derechos y cuotas de uso del agua, incluyendo estudios de comunicación para la despolitización en la definición de tarifas de agua. • Desarrollo de redes sociales, sistemas de comunicación urbana y rural para la prevención y organización civil en situaciones de emergencia en zonas inundables y desarrollo de tecnologías y sistemas de alerta intercomunitaria y participación social para gestión de sequías o inundaciones por parte de los diversos grupos sociales del país.. • Investigación básica sobre cultura del agua en escala regional en zonas urbanas, rurales y agrícolas y diseño de esquemas de participación social y de género, y metodologías y productos de comunicación de la cultura del agua, incluida la investigación antropológica sobre el conocimiento, documentación y sistematización de prácticas y creencias sobre el agua en regiones indígenas prioritarias. • Diseño de nuevas políticas públicas e instrumentos de gestión, con visión científica y tecnológica para plantear soluciones integrales coordinadas entre sectores y dependencias de gobierno. • .

2.7 Efectos de Cambio Climático	• Mejorar el conocimiento e instrumentación meteorológica, así como los modelos de pronóstico de corto y largo plazos (meteorológicos y climatológicos) y conocer los impactos en la degradación ambiental, la temperatura y, en particular, sobre la cantidad y calidad de recursos hídricos a nivel cuenca para identificar medidas efectivas de mitigación y adaptación ante fenómenos meteorológicos extremos y al cambio climático. • Desarrollo de modelos climáticos, efectos del cambio climático y estudios de impacto y adaptación en aguas subterráneas, superficiales, cuencas y microcuencas, y desarrollo de tecnología para elaboración de mapas de riesgo de inundaciones y sequías en SIG's, y mapas de asentamientos humanos ubicados en zonas de riesgo. • Desarrollo de Políticas Públicas encaminadas a proteger las cuencas prioritarias de las afectaciones del cambio climático y la calidad del agua, e implementación de herramientas para la difusión de resultados de estudios de vulnerabilidad y adaptación ante el cambio climático en el sector hídrico. • Estudio de un sistema financiero del agua y medidas costo-efectivas para afrontar mejor los efectos del cambio climático y apoyar las inversiones requeridas par la adaptación ante el cambio y la lucha contra las inundaciones y las sequías extremas. • Estudios de la dinámica de las cuencas para contar con escenarios y balances hidrológicos a nivel regional, estatal y local y análisis de las transformaciones necesarias viables en el uso del suelo, las actividades productivas y los asentamientos de población ante el cambio climático. • Investigación sobre vulnerabilidad y estrategias sociales de adaptación, y estudios para la determinación de tipos de vulnerabilidad ante el cambio climático en cuencas, microcuencas y zonas costeras de mayor riesgo,.
2.8 Formación de Recursos Humanos	• Formación técnica de recursos humanos especializados en hidráulica, meteorología, clima, hidrología de aguas superficiales y subterráneas, técnicas de medición y otras áreas prioritarias para los diferentes sectores usuarios. • Desarrollo de unidades de evaluación de la capacitación y certificación de competencias, y diseño de estándares de competencia laboral, capacitación y certificación para personal de organismos operadores de agua y saneamiento, y personal de las asociaciones y módulos de riego, incluyendo habilidades administrativas, técnicas, ejecutivas y directivas. • Capacitación a personal de protección civil en emergencias hídricas y desarrollo de capacidades para el control y lucha contra las inundaciones y la sequía. • Capacitación a directivos y usuarios de sistemas de riego, drenaje, operación y conservación de la infraestructura hidroagrícola, incluyendo temas de uso y sistemas de riego eficientes, cambio de cultivos, riego entiempo real, etc. • Preparar y actualizar suficientes recursos humanos, a nivel técnico, operativo, ejecutivo y directivo y mejorar la eficiencia, formación y preparación de cuadros técnicos y gerenciales de los organismos operadores. • Desarrollo de tecnologías para la capacitación a distancia y la capacitación presencial en temas prioritarios y desarrollo de los materiales educativos y de cultura del agua, específicos a cada cuenca, incluyendo capacitación con enfoque de género y etnia para la gestión integrada de los recursos hídricos por cuenca hidrológica y fortalecimiento de los Consejos de Cuenca.

Otras líneas d I&DT Agua y Salud	• Desarrollar investigación y diseñar protocolos para identificar y medir la contaminación puntual y difusa, y determinar la presencia de contaminantes emergentes, compuestos y sustancias químicas tóxicas en cuerpos de agua, y analizar sus vertidos para establecer normas oficiales mexicanas (NOM) y normas no obligatorias (NMX) para controlarlos. • Investigación, estudios de disponibilidad y técnicas de monitoreo de la calidad del agua en cuencas, microcuencas y regiones hidrológicas, y monitoreo de la contaminación en aguas superficiales y subterráneas, incluidos agroquímicos, procesos industriales, contaminantes emergentes y contaminación difusa, incluyendo el desarrollo y/o adaptación de modelos numéricos de transporte de la contaminación difusa y el establecimiento de criterios para implementar una Red de monitoreo de ésta. • Estudios actualizados de cantidad y calidad de agua en cuencas prioritarias para su conservación. • Desarrollo de técnicas de detección toxicológica y respuesta biológica ante contaminantes específicos y sus efectos en la contaminación difusa y puntual y desarrollo de técnicas específicas de control. • Desarrollo de nuevos sistemas de potabilización y tratamiento de agua residual para eliminar sustancias tóxicas y contaminantes emergentes con alto riesgo a la salud y los ecosistemas, como son hormonas y fármacos de uso extendido.
Agua, ciencia y tecnología hidrológica e hidráulica	• Desarrollo y/o adaptación de tecnologías de medición, y telemetría y comportamiento de variables hidrológicas e hidráulicas y de acuíferos, cársticos y no cársticos (cantidad y calidad), incluida su modelación. • Desarrollo de sistemas de medición de alta precisión y bajo costo, incluyendo la aplicación de imágenes de satélite, y adaptación y transferencia de tecnología de percepción remota y sistemas de información geográfica, incluidas las tecnologías para mejoramiento de la red hidrométrica y procesamiento de la información. • Desarrollo y validación de tecnologías eficientes, estudios y diseños para delimitación de cauces federales, zonas inundables y zonas de amortiguamiento de avenidas y diseño de medidas no estructurales para pronóstico de avenidas y sistemas de alerta temprana y planes temporales de uso de agua subterránea o superficial en situaciones de emergencia, incluyendo el desarrollo de herramientas tecnológicas para la simulación de procesos lluvia-escurrimiento. • Desarrollo y transferencia de sistemas de pronóstico meteorológico y climatológico, y de análisis de información meteorológica para el mejoramiento de tecnologías para la elaboración y difusión de pronóstico meteorológico y de clima estacional y desarrollo de modelos hidrológicos en cuencas prioritarias. • Desarrollo de Sistemas Hidrológicos Integrados que integren información de cantidad y calidad del agua en formato espacial y temporal, y alimenten de forma automatizada modelos de simulación. • Investigar y analizar a profundidad las relaciones entre los cuerpos de agua superficiales (lagos, lagunas, humedales) y las aguas subterráneas (acuíferos), para obtener una visión integral de la situación de los recursos hídricos en cantidad – disponibilidad y calidad – contaminación del recurso.

Líneas de I&DT generales par la GIRH	• Caracterizar la disponibilidad natural y las opciones técnicas y tecnológicas de aumento de la disponibilidad con precisión a nivel regional, estatal, municipal y local para conocer los límites y posibilidades de la oferta real en el mediano y largo plazos, y analizar las limitaciones y características regionales y técnicas de la oferta para desarrollar modelos de administración o gestión de la demanda mediante un uso más eficiente del agua.. • Implementación de sistemas de análisis de costos, contabilidad y cobro volumétrico para los sectores usuarios, y aumentar la cantidad y calidad de recursos financieros en términos de fuente, aplicación y oportunidad temporal y geográfica, logrando tres aspectos cruciales: suficiencia, eficiencia y sostenibilidad del gasto. • Análisis de las políticas de ciencia y tecnología hídricas y propuestas de programas para alinearlas a las prioridades del sector agua, consensuadas a nivel nacional y regional, con expertos, usuarios, académicos, dependencias y autoridades del sector y definición de líneas de investigación, innovación y desarrollo tecnológico con visión de largo plazo. • Estudios e investigación para coordinar la transversalidad de las políticas y acciones, inversiones, gastos y financiamientos, de las diferentes dependencias e instancias que están relacionadas con la captación, disponibilidad, almacenamiento, distribución, uso y consumo del agua a nivel federal, estatal y municipal, a partir de programas y agendas consensuadas por los actores. • Análisis de acervos de bases de datos y sistemas de información y estadísticas de las diferentes dependencias e instituciones involucradas en la gestión y uso del agua, para formar un sistema de información general consolidado, en apoyo a las políticas, acciones y programas hídricos • Estudios y proyectos para actualizar volúmenes disponibles y sustentables en cuencas hidrológicas, zonas de riego y organismos operadores y mejorar su redistribución y uso, y apoyar la actualización del REPDA.

3. RECOMENDACIONES DE POLÍTICA PÚBLICA

Se considera que la política pública en materia de ciencia, tecnología y formación de recursos humanos deberá estar orientada a los siguientes objetivos estratégicos:

- Ampliar y fortalecer las capacidades nacionales en materia de investigación e innovación tecnológica.
- Incrementar sustancialmente los recursos humanos calificados para el sector, desde los niveles técnicos hasta el posgrado.
- Asegurar la pertinencia de estas actividades, mediante su priorización hacia las necesidades nacionales y regionales.
- Difundir a la sociedad el conocimiento de la realidad hídrica nacional y regional.

El subsistema de innovación en materia de agua, conformado por centros de investigación, universidades, empresas del sector que invierten en I+D y autoridades gubernamentales, no dispone de los recursos económicos, institucionales y humanos necesarios para la atención plena de los retos del agua en México. Es necesario reforzarlo, no sólo incrementando los recursos económicos destinados a la investigación, innovación y formación de recursos humanos, sino también fortaleciendo a las instituciones del subsector ciencia y tecnología del agua, a partir de aquellas que ya han alcanzado un adecuado nivel de desarrollo y que, desafortunadamente, como se ha visto en el capítulo correspondiente de este documento, son aún insuficientes.

Asimismo, es necesario articular y concentrar los recursos de nuestro país en ciencia y tecnología del agua, hacia las prioridades nacionales, para lo que el Estado deberá ejercer su función de promotor de aquellas que sean más urgentes y necesarias, coordinando la acción de las diferentes instancias de gobierno que participan en el financiamiento de estas actividades.

Las instituciones encargadas de la gestión de los recursos hídricos, así como las encargadas de la operación de los sistemas hidráulicos, presentan un importante déficit de personal calificado. Asimismo,

en las instituciones de educación superior y en los centros de investigación, el número de especialistas dedicados a estas tareas es insuficiente para atender los retos del agua.

El diseño y ejecución de la política hídrica debe basarse en rigurosos criterios científicos y técnicos para poder enfrentar la grave problemática del agua. Una política hídrica integral, con visión transversal, articulada con los actores locales y basada en el conocimiento científico y el rigor técnico y que alinee la oferta tecnológica con la demanda y problemas reales.

De esta manera el país podrá beneficiarse del gran acervo existente en materia de ciencia y tecnología para solucionar los problemas del agua en México.

De conformidad con lo anterior, de manera sucinta a continuación se presentan una serie de recomendaciones de política pública en ciencia y tecnología en materia de agua:

1 El gobierno debe incrementar sustancialmente la inversión en ciencia y tecnología del agua, y establecer o promover mecanismos que favorezcan la participación privada, hoy muy reducida en el caso del agua, en estas actividades.

2 La principal prioridad para fortalecer la ciencia y tecnología del agua es la creación de nuevas plazas de profesores, tecnólogos e investigadores en ciencia y tecnología del agua, así como garantizar mejores percepciones para esta actividad, a fin de evitar la fuga interna y externa de cerebros que registra esta actividad. Este crecimiento en el personal debe realizarse priorizando las instituciones más productivas y las necesidades regionales.

3 El gobierno federal y los estatales deben jerarquizar sus inversiones en ciencia y tecnología del agua, dirigiéndola hacia las líneas de investigación establecidas en este documento, y hacia prioridades específicas de carácter regional. Se recomienda canalizar mayor inversión en ciencia y tecnología del agua a través del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

4 Debido a la naturaleza transversal del agua es necesario articular y coordinar las agendas y prioridades de los diferentes fondos sectoriales que pueden aplican recursos a la investigación y desarrollo tecnológico en materia de agua, como pueden ser: Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua (CONAGUA-CONACyT), Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal (CONAFOR-CONACYT), y el Fondo Sectorial de Investigación Ambiental (SEMARNAT-CONACYT), entre otros; con el propósito de atender las prioridades nacionales y de cada región.

5 Es necesario favorecer el desarrollo de capacidades de investigación con enfoque de cuenca en materia de investigación y DT, hacia las regiones hidrológicas administrativas, para lo cual se deben fortalecer las universidades e institutos que cuenten ya con la infraestructura y capacidades, y creando otros donde sea necesario, posiblemente mediante el establecimiento de unidades regionales del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, actualmente centralizado en sus oficinas de Morelos.

6 De acuerdo a diversos estudios se ha encontrado que uno de los principales obstáculos para la transferencia tecnológica es el diseño institucional que inhibe la sistematización de esta actividad, por lo que es importante impulsar la creación de Oficinas de Transferencia Tecnológica especializadas en el sector agua, ya sea al interior de alguna institución o por medio de nodos regionales que atiendan las necesidades de varias instituciones de investigación y desarrollo tecnológico.

7 Es relevante poder identificar de manera sistemática las capacidades de innovación en materia de agua en el país, con el fin de integrar los sistemas de innovación y dar seguimiento en su conjunto por medio de indicadores.

8 Promover la colaboración, y la consolidación de masa crítica, por medio de macro proyectos interinstitucionales.

9 Posicionar a la ciencia y la tecnología en los tomadores de decisiones y la sociedad en general como un motor del desarrollo, bienestar y seguridad para la población, en materia de agua.

10 Institucionalizar la incorporación de tanques de pensamiento (think tanks) en la toma de decisiones en los diversos ámbitos del Estado en materia de agua.

11 Dotar de recursos al Consejo Científico y Tecnológico Nacional del Sector Agua, creado por la Ley de Aguas Nacionales con el fin de que pueda ampliarse su ámbito de acción y fortalecer sus capacidades de articulación del subsector ciencia y tecnología en materia de agua.

12 Crear un sistema integral de información, planeación y evaluación del sector científico y tecnológico en materia de agua.

13 Promover el acercamiento entre la ciencia y la innovación en la solución de problemas del sector, por medio de arreglos institucionales y estructuras de incentivos apropiados.

14 Crear mecanismos de recambio generacional en la comunidad científica y tecnológica en el sector.

15 Promover las asociaciones público privadas para colaborar en innovaciones que generen productos y servicios para el sector, aprovechando el marco legal de la recientemente aprobada Ley de Asociaciones Público Privadas (artículo 3).

OBRAS CONSULTADAS

AMH (2010) M*emorias del XXI Congreso Nacional de Hidráulica 2010.* Guadalajara, Jalisco. Octubre de 2010. Asociación Mexicana de Hidráulica.

ANEI (2009) *Memorias del XV Congreso Nacional de Irrigación.* 21 al 29 de octubre, 2009. Asociación Nacional de Especialistas en Irrigación.

CICYT (2010), *El Estado de la Ciencia. Principales Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericanos/Interamericanos.* Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología. Buenos Aires, 2010.

CONAGUA (2019). *Estadísticas del Agua en México, edición 2010*. Comisión Nacional del Agua.

CONAGUA (2011). *Agenda del Agua 2030.* Comisión Nacional del Agua. México. 66 páginas.

CONACYT (2010) *Indicadores de actividad científica y tecnológica 2009.* Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México. Disponible en sitio de internet del CONACYT (www.conacyt.gob.mx)

Martínez-Austria P., Patiño-Gómez C. Editores (2011) *Atlas de vulnerabilidad hídrica de México ante el cambio climático*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

OECD (2011) *Science, Technology and Industry Scoreboard 2011.* OECD, Paris. http://www.oecd.org

Planck Foundation (2011) *Global Resources Analysis (draft version)*. Planck Foundation, http://www.planck.org/

Rojas-Sola J.I., Jordá-Albiñana B. (2011). *Análisis bibliométrico de la producción científica mexicana sonre ingeniería hidráulica en revistas de la base de datos Science Citation Index-Expanded (1997-2008)*. Tecnología y Ciencias del Agua, vol.II num. 4, octubre-diciembre de 2011. Páginas 195-213.

Sánchez Narvaez, José (1996) Manual de referencias sobre tecnologías apropiadas. ITACAB, Lima.

Science (editorial). *Research vital to economic Growth.* Science. Vol. 331. March 4 (2011).

World Economic Forum Water Initiative (2011) Water Security. The Water-Food-Energy-Climate Nexus. Island Press. Washington.

SENER. Estrategia Nacional de Energía. Secretaría de Energía. Febrero de 2010.

Cabrero Mendoza, Enrique, et. Al., El diseño institucional de la política de ciencia y tecnología en México. Eds. UNAM, CIDE. México, 2006.