



## **Tratamiento de aguas residuales en México: problemáticas de salud pública y oportunidad de uso de ecotecnologías sustentables**

### **Wastewater treatment in Mexico: public health problems and opportunity to use sustainable ecotechnologies**

Recibido 26 de mayo 2018; recibido en forma revisada 20 de agosto 2018; aceptado 10 de octubre 2018

Monserrat Vidal-Álvarez.  
Escuela de Bachilleres Experimental. Xalapa, Veracruz.  
Correo electrónico: [monserrat.vidal@gmail.com](mailto:monserrat.vidal@gmail.com)

#### **RESUMEN**

Los recursos hídricos en México se encuentran bajo una creciente presión debido al crecimiento demográfico, la urbanización y el incremento en el consumo de agua en los hogares y en los diversos componentes del sector productivo, principalmente en la agricultura y la industria. La calidad del agua en México es un tema que poco se discute y se estudia ante un problema mayor como lo es la escasez del vital líquido. Desafortunadamente, la falta de atención a este tema, así como la distribución de agua de mala calidad a la población ha traído como consecuencia diversas problemáticas de salud en los habitantes del país. Ante estas problemáticas, el saneamiento de las aguas residuales adquiere más importancia para asegurar su recolección, conducción, tratamiento y adecuada disposición en los cuerpos receptores, en condiciones que no perjudiquen al medio ambiente y la salud de la población. Una de las prioridades a nivel nacional debe ser el garantizar que a las aguas residuales generadas se les de un tratamiento efectivo en su totalidad. Por ello se debe garantizar que todos los habitantes tengan acceso a una forma segura de disponer de sus aguas, evitando problemas de salud pública sin afectar al medio ambiente y que garanticen la gestión integral de los recursos hídricos. En este sentido, resulta necesario y urgente el uso de ecotecnologías para el tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: Aguas residuales, tratamiento, ecotecnología, humedales, salud pública.

#### **ABSTRACT**

Water resources in Mexico are under increasing pressure due to population growth, urbanization and the increase in water consumption in households and in the various components of the productive sector, mainly in agriculture and industry. The quality of water in Mexico is a subject that is little discussed and studied in the face of a greater problem, such as the scarcity of the vital liquid. Unfortunately, the lack of attention to this issue, as well as the distribution of poor quality water to the population, has resulted in various health problems for the inhabitants of the country. Faced with these problems, the sanitation of wastewater becomes more important to ensure its collection, conduction, treatment and adequate disposal in the receiving bodies, under conditions that do not harm the environment and the health of the population. One of the priorities at the

national level should be to ensure that the wastewater generated is given an effective treatment in its entirety. Therefore, it must be guaranteed that all inhabitants have access to a safe way to dispose of their water, avoiding public health problems without affecting the environment and guaranteeing the integral management of water resources. In this sense, it is necessary and urgent to use ecotechnologies for the treatment of wastewater.

Key words: Wastewater, treatment, ecotechnology, wetlands, public health

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso finito indispensable para la salud pública, el bienestar humano y de los ecosistemas, además es un factor estratégico de seguridad nacional, así como de estabilidad social y política de México, por ello en el Programa Nacional Hídrico 2014-2018, el agua se considera como un bien promotor del desarrollo sustentable. Sin embargo, el crecimiento poblacional, el uso desmedido del vital líquido y la falta de plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otras problemáticas han ocasionado la contaminación de ríos, escasez de agua de calidad y diversas afectaciones a la salud pública.

De acuerdo con la reforma al artículo 4° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, publicada el 8 de febrero de 2012, *“toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible”* (DOF, 2012). La reforma también establece la participación de los tres órdenes de gobierno y la misma sociedad para garantizar este derecho. Sin embargo, la escasez de agua de calidad es una situación común en todo el país. De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (2018) en México solo se trata el 50% de las aguas residuales entre municipales e industriales. Mientras que en las comunidades rurales (cerca de 5000  $\leq$  2500 habitantes), la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales difícilmente es considerada, en tales casos las comunidades tienden a descargar sus aguas residuales a cielo abierto o en otras fuentes de agua como lagos, lagunas, ríos, o el mar. En dicha situación esos cuerpos de descarga se vuelven a su vez un foco de infecciones, afectando además la flora y fauna nativa del ecosistema, desprendiendo

malos olores, dando un mal aspecto y dejan de ser áreas seguras para uso recreativo.

Ante tal situación la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales y la búsqueda de opciones para contar con mayor cantidad de agua de calidad resulta pertinente. Una de las situaciones por las que existe insuficiente número de plantas de tratamiento es debido al alto costo que estas involucran en cuanto a diseño, instalación, operación y mantenimiento, entre los que se resaltan también los altos consumos de energía que éstas requieren. Por ejemplo, en Xaltianguis, Guerrero la construcción de una planta de tratamientos mediante lodos activados que trata 1080 m<sup>3</sup>/día requirió un monto de \$5, 965, 000. 00 M.N., además del gasto de \$38, 880.00 M.N. mensuales solo de operación por metro cúbico (Hernández, 2016). Muchos municipios y aún menos poblaciones rurales, no cuentan con los recursos necesarios para solventar el costo de dichas instalaciones o a veces no es en lo que se quiere invertir una cantidad como la descrita. Ante este panorama, el uso de eco tecnologías eficientes que sean ecológica y económicamente viables es una opción vital de urgente aplicación. En la presente revisión se detalla la situación de la problemática del agua en México, los problemas de salud pública y ambiental que conlleva el no tratarla adecuadamente, y se describen algunas de las opciones de eco tecnologías sustentables más utilizadas en el mundo y que serían rentables para resolver las problemáticas de escasez de agua de calidad descritas en México.

## METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda de la literatura de las publicaciones de los organismos e instituciones nacionales relacionadas con la gestión,

administración, investigación y tratamiento del agua como son la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua de Tecnología del Agua (IMTA), Sistema Nacional de Información del Agua (SINA), Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), así mismo se consultaron bases de datos de diversas universidades, tesis de licenciatura y maestría y el ISI Web of Knowledge ([www.isiknowledge.com](http://www.isiknowledge.com)). Para tener información reciente, únicamente se consideraron las publicaciones realizadas del año 2000 a 2018.

## RESULTADOS

### Agua y salud pública

El agua y la salud de la población son dos aspectos de la vida diaria que están interrelacionados de manera inseparable y vital, cabe reconocer que la calidad del agua condiciona la calidad de vida de la humanidad. A nivel mundial, se estima que se generan 842 000 muertes anuales debidas a la ausencia de agua salubre y a un saneamiento e higiene deficientes (OMS, 2012), e incluyen 361 000 fallecimientos de niños menores de 5 años, la mayor parte de ellos en países de ingresos bajos (OMS-UNICEF, 2014).

La salud humana depende de una gran variedad de factores, entre los cuales el ambiente es muy importante. De acuerdo con algunas estimaciones, los factores ambientales son responsables de entre el 25 y 33% de la carga global de la enfermedad, afectando primordialmente a la población menor de cinco años.

No tener acceso y disponibilidad de agua de buena calidad puede poner en riesgo la salud e integridad de la población. A lo largo del tiempo se han detectado diversos riesgos para la salud cuando se hace uso del agua, por ejemplo, para las siguientes actividades: consumo de alimentos y bebidas, recreación, exposición a aguas residuales, así como usos médicos. Además de los riesgos netamente accidentales, los riesgos principales para la salud están relacionados con la contaminación; esta puede ser: microbiológica (bacterias, virus, parásitos); química (metales, plaguicidas, subproductos de desinfección, etc.) y relacionada con toxinas (toxinas producidas por algas, etc.) (OPS, 1999).

Por otro lado, el personal que trabaja en el sector de agua también enfrenta una serie de riesgos específicos como caída al agua y ahogo, exposición a gases tóxicos, contacto con productos corrosivos o quemaduras con residuos a altas temperaturas e infección por contacto con agua contaminada. A menudo, estos riesgos se agravan cuando se trabaja en espacios limitados y en contacto con aguas residuales, aerosoles o presencia de electricidad. Estas características demandan medidas preventivas específicas (vacunación), así como capacitación y protección personal y grupal. Por otro lado, los riesgos para los seres humanos causados por metales tales como el arsénico, plomo, cadmio o mercurio son bien conocidos; por ello, se debe cumplir con los estándares existentes para proteger efectivamente la salud.

Los casos de intoxicación humana a largo plazo con plaguicidas u otros productos orgánicos generalmente están relacionados con la contaminación en los entornos ocupacionales. Está claro que la concentración de estos productos en el agua debe mantenerse a un nivel tan bajo como sea posible y compatible con los imperativos económicos, sociales y ambientales específicos de cada comunidad. Los riesgos relacionados con la presencia de estos productos deben evaluarse cuidadosamente, así como los costos y consecuencias de eliminarlos (IWSA, 1995, OMS, 1995).

Ante estas problemáticas, la población infantil es la más vulnerable, pues padecen daños permanentes e irreversibles, la participación del ambiente en la salud ha sido analizada por la OMS, la vulnerabilidad de los niños a los riesgos ambientales se incrementa al no considerar y proporcionar sus derechos por el ambiente en que viven, aprenden, trabajan y juegan. Los factores extrínsecos asociados a los aspectos socio-demográficos, como la inequidad, la pobreza, las prácticas culturales, el nivel de educación, los riesgos por la exposición a contaminantes ambientales, las alteraciones ocasionadas por los cambios climáticos, entre otros (OMS, 2000, Prüss y Corvalán, 2006).

La calidad del agua en México es un tema que poco se discute y se estudia ante un problema mayor como lo es la escasez del vital líquido. Desafortunadamente, la falta de atención a este tema, así como la distribución de agua de mala calidad a la población ha traído como consecuencia diversas problemáticas de salud en los habitantes del país.

La provisión de agua potable y de saneamiento es un factor significativo en la calidad de la población, al evitar su exposición a los agentes patógenos. El acceso adecuado a estos servicios es crucial para la reducción de la mortalidad y morbilidad entre la población menor de cinco años, la disminución de enfermedades de transmisión hídrica (hepatitis viral, fiebre tifoidea, cólera, disentería y otras causantes de diarrea), así como de afecciones resultantes del consumo de componentes químicos patógenos (arsénico, nitratos o flúor) (CONAGUA, 2016). En este sentido, los temas en la agenda de salud ambiental en México han variado durante los últimos años, así como la incorporación de diferentes enfoques para su abordaje, como son los relacionados con factores ambientales a las enfermedades diarreicas y en general aquellas transmitidas por el agua (Riojas et al., 2013).

En materia de salud, el incremento de coberturas de agua potable y alcantarillado, complementado con otras medidas de sanidad e higiene, se relaciona con la disminución significativa de enfermedades de transmisión hídrica. Un indicador relevante es la tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas para menores de 5 años, el cual disminuyó en gran medida del período 1990 al 2015 como resultado de diversas acciones e intervenciones en salud pública, entre las que se encuentran la distribución de suero oral a partir de 1984, las campañas de vacunación desde 1986, el Programa Agua Limpia desde 1991, y el incremento de las coberturas de agua potable, alcantarillado y saneamiento (Sepúlveda et al., 2007). Además, el porcentaje de cobertura de agua potable, así como la cobertura de alcantarillado incrementaron significativamente a nivel nacional (Cuadro 1). A estos factores se añaden los de higiene, educación,

acceso a los servicios de salud y la mejora en las condiciones socioeconómicas y ambientales. Resulta interesante comparar el comportamiento ascendente de las coberturas de acceso a los servicios de agua entubada y de acceso a los servicios de alcantarillado y saneamiento básico contra la reducción en la tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de cinco años, que se observa en la Cuadro 1. Cabe comentar que el dato de tasa de mortalidad para el año 2018 la CONAGUA sigue reportando la información obtenida en el año 2015, es decir no se ha actualizado esta información. En México, los prestadores del servicio de agua potable, generalmente los municipios, llevan a cabo la desinfección del agua mediante cloración, la cual se realiza para destruir o inactivar agentes patógenos o parásitos microscópicos, conforme lo establece la NOM-127-SSA1-1994. El procedimiento de desinfección del agua se evalúa por la determinación de cloro libre residual en la toma domiciliaria.

**Cuadro 1. Evolución de indicadores de servicios del agua en México 1990-2018.**

INDICADOR			
AÑO	Servicios de agua entubada (%)	Servicios de alcantarillado y saneamiento (%)	*Tasa de mortalidad por diarreas en menores de 5 años
1990	78.4	61.5	122.7
2000	87.9	76.2	26.9
2010	90.9	89.6	9.1
2014	92.4	91.0	9.1
2015	95.3	92.8	7.3
2018	No hay información actualizada, en el informe 2018, CONAGUA sigue reportando datos de 2015		

Fuente: modificado de CONAGUA, 2016, Numeragua México, 2015. Numeragua México, 2016 \*(cada 100 000 habitantes)

Si bien es cierto que estos datos son favorables para la calidad de vida de la población, también es cierto que México enfrenta un reto urgente a tratar en materia de contaminación de los cuerpos de agua que abastecen a la población, así como de las descargas de aguas residuales que contaminan los recursos hídricos y vulneran la disponibilidad de agua de buena calidad para los mexicanos (CONAGUA, 2016). Ya que, a pesar de que durante las últimas décadas México ha generado y recibido los beneficios de una mejoría en las condiciones de salud, muchos grupos poblacionales se encuentran todavía frente a riesgos de enfermedad ante la falta de oportunidades y servicios, lo que podría exacerbarse ante la creciente presencia de sustancias químicas en el ambiente, la contaminación atmosférica en exteriores e interiores, el calentamiento climático, la intoxicación por plaguicidas, la contaminación de agua y alimentos y otros problemas relacionados con el deterioro ambiental (INS, 2015).

### **Enfermedades relacionadas con el recurso hídrico**

Las enfermedades relacionadas con el uso de agua se encuentran aquellas causadas por microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua potable; enfermedades como la esquistosomiasis, que tiene parte de su ciclo de vida en el agua; la malaria, cuyos vectores están relacionados con el agua; el ahogamiento y otros daños, y enfermedades como la legionelosis transmitida por aerosoles que contienen microorganismos. La Organización Mundial de la salud (OMS) publica una lista de más de 20 enfermedades relacionadas con el agua, entre las que destacan: diarrea, anemia, tifoidea y fiebres entéricas paratifoideas, campilobacteriasis, fluorosis, intoxicación por plomo, malnutrición, entre otras (OMS, 2017).

El cólera, la tifoidea y la disentería se encuentran entre las enfermedades diarreicas, todas ellas relacionadas con vías de transmisión fecal-oral. La mayor parte de las muertes por causa de estas enfermedades se podría evitar con acciones en los

temas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, pues se estima que el 88% de los casos de diarrea se ocasionan por agua contaminada, saneamiento inadecuado y malos hábitos de higiene (Corcoran et al., 2010).

En el año 2010 la oficina de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en México inició un proceso regional para monitorear efectos e impactos en Salud Ambiental mediante un conjunto de indicadores básicos seleccionados para validar su eficiencia en la recolección de la información en cada contexto nacional de la región. Uno de los factores determinantes de este proceso fue el agua, en donde se incluyen indicadores como: población con acceso a servicios como agua potable, alcantarillado o eliminación de excretas, niveles de mercurio en agua, análisis de aguas con calidad aceptable según la normatividad (IMS, 2015). Sin embargo, dichos monitoreos resultan altamente costosos y la operación de los mismos puede tomar mucho tiempo y capital humano. En México aún hace falta mucha investigación en cuanto a las enfermedades que se relacionan con el agua, ya que como referente nacional se aborda únicamente las enfermedades diarreicas en población infantil menores a 5 años, y existe muy poca información de otro tipo de enfermedades enlistadas por la Organización Mundial de la Salud que bien podrían arrojar un diagnóstico más completo de la relación agua-salud en el país y abordar de manera más eficiente esta problemática.

Por otro lado, un estudio de Ortiz (2015), reveló que a nivel nacional el agua superficial se encuentra contaminada con diferentes tipos de microorganismos y compuestos químicos, mientras que el agua subterránea (que provee alrededor del 75% a la población), está en contacto con minerales de los que se disuelven elementos como arsénico y flúor. Cabe destacar, que estos dos elementos se encuentran dentro de las diez sustancias más estudiadas por sus efectos en salud en el mundo y en México se han reportado concentraciones arriba de las establecidas por la Modificación a la NOM-127-SSA-1994 en comunidades de los siguientes estados: Baja California Norte, Durango, Aguascalientes, Zacatecas, Guanajuato, Sonora,

Chihuahua, Chiapas, Coahuila, Nuevo León, Sinaloa, San Luis Potosí, Jalisco, Michoacán, Querétaro, México, Hidalgo, Chiapas y Puebla. No se conoce con certeza la cantidad de personas expuestas en México a fluoruro y/o arsénico en concentraciones que ocasionan efectos a la salud por medio del agua de consumo y por los alimentos preparados con esta agua, esto debido principalmente en que muchos Estados no se ha realizado el análisis de la calidad de agua para consumo humano (Ortiz, 2015).

En México, existen trabajos de investigación referentes a la presencia de metales en cuerpos de agua que sirven de fuente de abastecimiento en diversas actividades humanas, por ejemplo: Liano-Guanes et al. (2015) detectaron la presencia de concentraciones de mercurio (Hg) que rebasaron los límites máximos permisibles (LMP) en la cuenca alta del río Grijalva, lo cual compromete la salud de la población ya que, la excesiva acumulación de contaminantes, como son los metales pesados en agua y suelo, conlleva una elevada absorción de metales pesados en los cultivos y por lo tanto afecta la seguridad y calidad de los alimentos (Mochuweti et al., 2006; Redondo-Gómez et al., 2009), transfiriendo metales pesados a través de la cadena alimenticia afectando de manera importante la salud pública (Demirbas, 2008); los efectos a ésta pueden manifestarse después de varios años dependiendo de la exposición (Bahemuka y Mbofu, 1999).

Otra problemática que se vive en México es el riego con aguas residuales, el cual representa un riesgo potencial para la transmisión de patógenos y diversos contaminantes, que ponen en riesgo la salud de los trabajadores agrícolas, sus familias y los consumidores de estos productos. Las aguas residuales contienen microbios, metales pesados y sustancias químicas que son un riesgo para la salud humana y el medio ambiente (Abu-Ashor y Lee, 2000). Los beneficios que ven los agricultores por el uso de aguas residuales es que puede suministrar nutrientes a los alimentos, debido a los altos contenidos de materia orgánica, además se reduce el costo de energía de bombeo y minimiza las emisiones de carbono al medio ambiente. La

disponibilidad de fertilizantes es escasa en lugares donde los recursos económicos son limitados (Hanjra, et al., 2011). Sin embargo, la exposición directa o indirecta a las aguas residuales, conlleva diferentes problemas, al establecer contacto con la piel, durante la inhalación, consumo directo de las aguas o al comer las verduras crudas producidas con estas aguas; la más grande preocupación son los virus patógenos, bacterias, protozoos y helmintos (Srinivasan y Reddy, 2009).

La Ciudad de México es una de las urbes más grandes en el mundo y es la fuente de agua residual, empleada por más de 100 años para la irrigación agrícola en el cultivo de alimentos en el Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, el cual se encuentra en los distritos de riego más importantes del país, debido a la superficie que abarca y el valor económico de la producción agrícola. Recientemente se encontraron diversos problemas de salud en el Valle del Mezquital, debido al contenido de microorganismos patógenos como son las bacterias, virus, parásitos, y contaminantes químicos, etc., que son vertidos a las aguas residuales de riego, las cuales provocan al ser humano enfermedades como: cólera, diarreas o afectaciones en la piel de los agricultores debido al contacto y consumo de aguas contaminadas o por el consumo de vegetales que son regados con estas (Núñez, 2015). Cabe señalar que al 2014 el “El boletín epidemiológico, de la Secretaría de Salud dio a conocer que Hidalgo se encuentra entre las diez entidades con el mayor número de enfermedades gastrointestinales en el país.

Actualmente, está en construcción una planta de tratamiento de aguas residuales, lo cual puede considerarse como un avance, sin embargo, el gobierno no ha tomado las medidas necesarias para evitar el consumo de estos alimentos y/o el riego con agua residual, que bien puede reflejarse en enfermedades en el corto, mediano o largo plazo, lo que conlleva a la aparición de las enfermedades gastrointestinales (amibiasis, ascariasis) y cáncer entre otros tipos.

La desinformación de la contaminación del agua de consumo en México, además de las enfermedades e

impactos ambientales, genera la falta de éxito en los programas y proyectos que son creados por otras dependencias y/o en los esfuerzos conjuntos por frenar estas problemáticas; afectando directamente en la salud de la población mexicana. En este sentido los monitoreos de la calidad del agua, así como la información de los mismos a la sociedad se deben atender de manera urgente y constante, para tener un diagnóstico de todos los contaminantes que se encuentran presentes en el agua que consumen los habitantes y poder correlacionarlos de manera precisa con las enfermedades que se padecen en torno al agua.

### **Marco legal e instrumentos de política en torno al agua y la salud**

A nivel mundial, se está fomentando un enfoque basado en los derechos humanos; en materia de agua la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que *“toda la gente, cualquiera que sea su nivel social, económico o de desarrollo, tiene el derecho a un consumo de agua segura”*. En este sentido, el abastecimiento de agua potable se convierte en un derecho legal, con el ser humano como elemento central (OMS, 2011).

Así mismo, la falta de acceso al agua potable y servicios de saneamiento también tiene graves repercusiones en el derecho a la salud. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), indica que cada año mueren alrededor de 1.8 millones de niños por diarrea y otras enfermedades provocadas por el agua insalubre y las condiciones deficientes de saneamiento, cifra que es muy superior a la de las víctimas causadas por los conflictos armados (OMS, 2011).

Específicamente en México, el 8 de febrero de 2012 mediante decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación se incluye la reforma al artículo 4° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que señala: *“toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso*

*equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines”*. Asimismo, los párrafos quinto y sexto del artículo 27 constitucional determinan que las aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponden originalmente a la nación, que ese dominio es inalienable e imprescriptible, y la explotación, uso o aprovechamiento del recurso no podrá realizarse sino mediante concesiones otorgadas por el Ejecutivo Federal de conformidad a las reglas y condiciones que establezcan las leyes.

Por su parte, el artículo 134 constitucional estipula que los recursos económicos de que disponga la Federación, los estados, los municipios, el Distrito Federal y los órganos político-administrativos de sus demarcaciones territoriales se administrarán con eficiencia, eficacia, economía, transparencia y honradez.

Por otro lado, la Ley de Aguas Nacionales (LAN), como señala en el artículo 1, es reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable. El artículo 14 BIS de la LAN expresa: "La Comisión", conjuntamente con los Gobiernos de los estados, del Distrito Federal y de los municipios, los organismos de cuenca, los consejos de cuenca y el Consejo Consultivo del Agua, promoverá y facilitará la participación de la sociedad en la planeación, toma de decisiones, ejecución, evaluación y vigilancia de la política nacional hídrica. Además, el artículo 119 de la Ley General de Salud, expresa que corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas en sus respectivos ámbitos de competencia: I) Desarrollar investigación permanente y sistemática de los riesgos y daños que para la salud de la población origine la contaminación del medio ambiente. II) Vigilar y

certificar la calidad del agua para uso y consumo humano.

Aunado a lo anterior, en los últimos años se han publicado una serie de normas relacionadas con la salud ambiental en torno al agua que se enlistan a continuación:

- NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Publicada el 20 de noviembre del 2000.
- NOM-179-SSA1-1998. Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público. Publicada el 24 de septiembre del 2001.
- NOM-201-SSA1-2002. Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias. Publicada el 18 de octubre del 2002.
- NOM-230-SSA1-2002. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo. Publicada el 12 de julio del 2005.
- NOM-244-SSA1-2008. NORMA Oficial Mexicana, Equipos y sustancias germicidas para tratamiento doméstico de agua. Requisitos sanitarios. Publicada el 4 de septiembre del 2009.
- NOM-245-SSA1-2010. Requisitos sanitarios y calidad del agua que deben cumplir las albercas. Publicada el 25 de junio del 2012.

Cabe señalar que conforme a la Ley General de Salud, la Secretaría de Salud ejerce las atribuciones de regulación, control y fomento sanitario, a través de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) a la cual le compete a atención de los asuntos de salud ambiental bajo el rubro de "riesgos sanitarios

ambientales" y de acuerdo al Art. 17 bis se puede destacar que tiene las siguientes atribuciones: La prevención y el control de los efectos nocivos de los factores ambientales en la salud del hombre, la salud ocupacional y el saneamiento básico, el control sanitario de productos, servicios y de su importación y exportación y de los establecimientos dedicados al proceso de los productos.

Por otro lado, el marco normativo que se encarga de regular las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores en México es a través de las siguientes normas:

- Norma Oficial Mexicana NOM-001-Semarnat-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas o bienes nacionales. Publicada el 6 de enero de 1997.
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-Semarnat-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Publicada el 3 de junio de 1998.
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-Semarnat-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios públicos. Publicada el 21 de septiembre de 1998.
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final.
- NMX-AA-004-SCFI-2013 Análisis de agua-Medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba.
- NMX-AA-008-SCFI-2011 Análisis de agua-Determinación del pH- Método de prueba.
- NMX-AA-028-SCFI-2001 Análisis de agua-Determinación de la demanda bioquímica de



oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba.

- NMX-AA-029-SCFI-2001 Análisis de aguas- Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - Método de prueba.
- NMX-AA-034-SCFI-2001 Análisis de agua- Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - Método de prueba.
- NMX-AA-036-SCFI-2001 Análisis de agua- Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - Método de prueba.
- NMX-AA-072-SCFI-2001 Análisis de agua- Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - Método de prueba.

Por otro lado, existen diversos estudios y propuestas que sugieren ciertos cambios en la normatividad para la reutilización de agua residual en México. En general, son cambios que no requieren grandes inversiones técnicas ni financieras por parte de las autoridades mexicanas. De hecho, las nuevas normas que se proponen se pueden lograr con lagunas de estabilización, presas de retención y eco tecnologías, por lo cual no se requiere la misma inversión económica que necesitan las plantas de tratamiento convencionales, ni personal altamente calificado para su operación y mantenimiento.

Otro instrumento de la política en México que incide en aspectos hídricos a nivel nacional es el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, el cual indica: “hacer efectivo el ejercicio de los derechos sociales de todos los mexicanos, a través del acceso a servicios básicos, **agua potable, drenaje, saneamiento**, electricidad, seguridad social, educación, alimentación y vivienda digna, como base de un capital humano que les permita desarrollarse plenamente como individuos”; y lo más importante, en la Estrategia 4.4.2. Implementar un manejo sustentable del agua, haciendo posible que todos los mexicanos tengan acceso a ese recurso, dentro de las líneas de acción, establece como primera acción: “Asegurar agua suficiente y

de calidad adecuada para garantizar el consumo humano y la seguridad alimentaria”.

Así mismo, en el Plan Nacional Hídrico 2014-2018 orienta el esfuerzo de la sociedad, en el marco del sistema nacional de planeación, para la gestión integrada de recursos hídricos y la conservación de los recursos naturales. Este documento se desarrolló con la colaboración y aportaciones de instituciones, dependencias, expertos y consulta pública, teniendo como uno de sus lineamientos rectores “*el agua como elemento de justicia central*”. Además, se hace mención a la urgente y profunda transformación del sector agua mexicano, iniciando con su integración en definitiva para darle existencia, sentido y visión de futuro. Esa transformación conlleva la instrumentación de reformas cruciales de la mano con elementos de modernización que son insoslayables para alcanzar el éxito en la consecución del objetivo global del sector: lograr la seguridad y la sustentabilidad hídrica en México (PNH 2014-2018). En el objetivo número 3 de este mismo documento se plantea: “Fortalecer el abastecimiento de agua y el acceso a los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento”. Además, se planea fomentar el incremento de las eficiencias y capacidades técnicas, administrativas y financieras de los organismos operadores prestadores de estos servicios y la incorporación o sustitución de nuevas fuentes de abastecimiento.

Con lo anteriormente citado se puede observar que el acceso al agua de buena calidad está bastante estipulado y respaldado en términos legales, y que la responsabilidad y competencia de brindar agua de buena calidad a la población recae en el estado; sin embargo es necesaria para cumplir exitosamente los planes y proyectos que además de los tres órdenes de gobierno, los usuarios del agua y la sociedad también sean corresponsables; ya que el exceso de contaminación en el agua y la falta de coordinación entre autoridades, entre otros problemas ha repercutido de manera importante en los efectos sobre la salud de la población y resulta necesaria y urgente la participación y aportaciones ciudadanas

para lograr un manejo integral de los recursos hídricos nacionales.

Bajo este contexto, el disponer de agua tanto en cantidad como calidad suficiente para el consumo humano es una de las demandas básicas de la población, pues incide directamente en su salud y bienestar en general. Así mismo, tal como se menciona en el Plan Nacional Hídrico 2014-2018, para superar los grandes y complejos desafíos en materia de agua, es primordial sumar voluntades, capacidades, esfuerzos y recursos; así como cambiar la forma tradicional de relacionarnos con ella, es decir, no seguirla viendo como un recurso inagotable, sino como un bien escaso y costoso que es necesario administrar responsablemente.

### Sistemas de tratamiento e infraestructura de aguas residuales

La calidad de vida de la población, el crecimiento económico, así como el desarrollo nacional dependen en gran medida de los recursos hídricos, en este sentido es de suma importancia mantener los cuerpos de agua y fuentes de abastecimiento libres de contaminación y descargas de aguas residuales. En este apartado, se presenta una visión de la situación actual en materia de tratamiento de aguas residuales en México, con información reciente que va del año 2000 al 2016.

Los recursos hídricos en México se encuentran bajo una creciente presión debido al crecimiento demográfico, la urbanización y el incremento en el consumo de agua en los hogares y en los diversos componentes del sector productivo principalmente en la agricultura y la industria. La falta de coordinación entre usuarios y autoridades, aunado a la falta de un adecuado tratamiento y reúso de las aguas residuales generadas; conducen a la sobre explotación del recurso, la contaminación de ecosistemas, la degradación de los suelos y a un impacto negativo sobre la seguridad alimentaria. Ante esta problemática, el saneamiento de las aguas residuales adquiere más importancia para asegurar su recolección, conducción, tratamiento y adecuada disposición en los cuerpos receptores, en

condiciones que no perjudiquen al medio ambiente y la salud de la población (De la Peña et al, 2013).

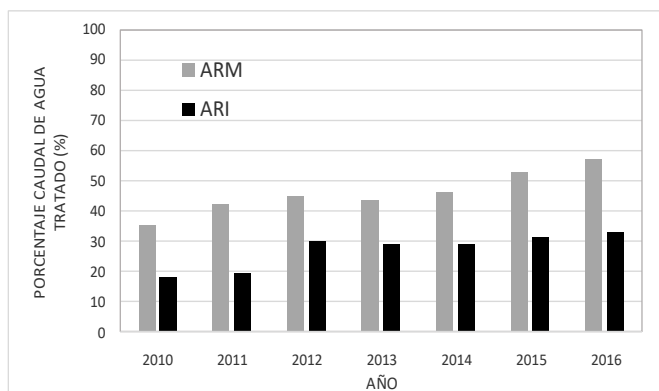
En México, las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales e industriales. Las municipales corresponden a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillado urbanos y rurales, en tanto que las segundas son aquellas descargadas a los cuerpos receptores de propiedad nacional, como es el caso de la industria autoabastecida. Las aguas residuales son recibidas en plantas de tratamiento para la remoción de sus contaminantes, previo a su descarga a cuerpos de agua. Dentro de la infraestructura hidráulica con la que cuenta el país para dar el tratamiento de aguas residuales al año 2015 se encuentran las siguientes: 2 477 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación y 2 832 plantas de tratamiento de aguas residuales industriales en operación (CONAGUA, 2016). Pese al incremento de construcción de plantas de tratamiento de agua residual en la última década, aún no se satisface la demanda de tratamiento de las mismas; al año 2016 de las aguas residuales municipales colectadas únicamente se le dio tratamiento al 57.02% y de aguas residuales industriales generadas sólo se trató el 32.85% (Cuadro 2). Estos porcentajes resultan alarmantes si pensamos que el resto son descargadas en los diferentes cuerpos de agua que abastecen a la población para diversas actividades.

**Cuadro 2. Tratamiento de aguas residuales municipales e industriales en México. Fuente: CONAGUA, 2016.**

	AR		Plantas
	colecta AR (m <sup>3</sup> /s)	tratada m <sup>3</sup> /s (%)	
Agua residual municipal	212.0	120.9 (57.02)	2 477
*Agua residual industrial	214.6	70.5 (32.85)	2 832

\*(industrias autoabastecidas). AR= Agua residual.

En la figura 1 se muestra la evolución del porcentaje de tratamiento del agua residual generada (municipal e industrial) en México del año 2010 al 2016.



**Figura 1. Evolución porcentaje de tratamiento de aguas residuales en México.** ARM= Agua residual municipal, ARI= Agua residual industrial. Fuente: Elaboración propia con información de Estadísticas del agua en México del 2010 al 2016.

No obstante, la infraestructura construida, aún constituye una solución insuficiente, pues existen problemas de obsolescencia, de altos costos de operación y una oposición creciente para la construcción de nuevas obras, debido a problemas políticos y sociales en el país. Por otro lado, la falta de estudios y proyectos es un problema no resuelto en la gestión del agua que afecta seriamente el proceso de inversión. Se dificulta cumplir el ejercicio de los presupuestos gubernamentales dentro del año fiscal; las obras se encarecen al construirse con malos proyectos o con proyectos elaborados apresuradamente que, en suma, nada ayudan a conducir un proceso ordenado de planeación, entre otros aspectos (CONAGUA, 2014). Por otro lado, las inversiones asignadas para elaborar estudios y proyectos no han sido suficientes y ha dado como resultado una débil cartera de proyectos, ejemplo de lo anterior es que en el documento Estadísticas del agua en México 2016, se enlista una serie de proyectos futuros de infraestructura hidráulica que se planearon en el año 2015 (Elaborado con base en Conagua (2016); y los

únicos proyectos en materia de tratamiento de aguas son dos: El saneamiento del Valle de México: Planta de tratamiento Atotonilco (35 m<sup>3</sup>/s) y una planta de tratamiento de 2.5 m<sup>3</sup>/s en Hermosillo.

### Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales

Durante el año 2015, las 2 477 plantas en operación a lo largo del país, trataron 120.9 m<sup>3</sup>/s, es decir el 57.0% de los 212.0 m<sup>3</sup>/s recolectados a través de los sistemas de alcantarillado.

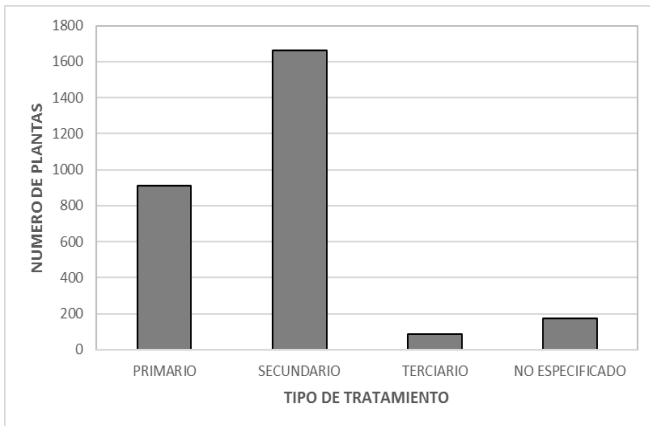
El uso de aguas residuales municipales es un patrón común en los países de Oriente Medio y África del Norte, Australia y el Mediterráneo, así como en China, México y Estados Unidos. La práctica ha sido más exitosa en áreas urbanas y periurbanas, donde las aguas residuales son fácilmente disponibles, generalmente gratis, y donde hay un mercado para los productos agrícolas (WWAP, 2017).

La reutilización de agua residual municipal tratada se ha incrementado en los últimos años en México, generalmente en la agricultura, la industria y en los servicios municipales, principalmente para el riego de áreas verdes urbanas. Entre las ventajas del reuso destaca su menor costo, que disminuye las presiones sobre las fuentes y satisface demandas que no exigen calidad potable. Conagua estimaba que al 2015 se reusaban directamente (antes de su descarga) 19.8 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales tratadas. En tanto que se reusaban indirectamente (después de su descarga) 88.1 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales tratadas (CONAGUA, 2016).

### Plantas de tratamiento de aguas residuales industriales.

En el año 2015, la industria trató 70.5 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales, en 2 832 plantas en operación a nivel nacional. En México el tratamiento de aguas residuales industriales se lleva a cabo por medio de tres tipos de tratamiento, el primero tiene como propósito ajustar el pH y remover materiales orgánicos e inorgánicos en suspensión con tamaño igual o mayor a 0.1mm, el tratamiento secundario sirve para remover materiales orgánicos coloidales

disueltos y el terciario se utiliza para remover materiales disueltos que incluyen gases, sustancias orgánicas naturales y sintéticas, iones, bacterias y virus (CONAGUA, 2016). La Figura 2 muestra el número de plantas que utilizan cada tipo de tratamiento, como se puede ver observar el tratamiento secundario es que más se emplea, llevándose a cabo en más de 1600 plantas.

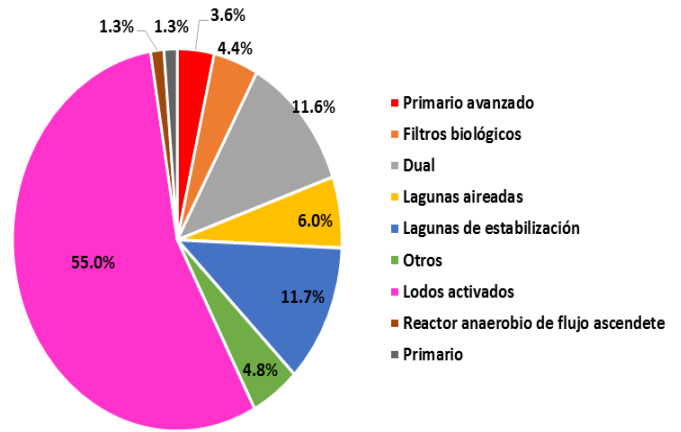


**Figura 2. Tipos de tratamiento de aguas residuales industriales, 2015.**

Fuente: Elaboración propia basado en CONAGUA, (2016).

Al 2015 los principales procesos de tratamiento que se llevan a cabo en México se ilustran en la figura 3. Como se puede observar el tratamiento por lodos activados sigue siendo el más utilizado (59.5%), siguiendo en ese orden las lagunas de estabilización (12.5%) y otros tratamientos (7.6%) los cuales incluyen humedales artificiales. Una estrategia que aunque lleva más de 20 años de uso es en países Europeos. En México aún se tiene poco conocimiento de su utilidad, esto derivado en gran medida por la falta de manuales de construcción y de preparación con carreras afines donde se enseñe sobre los humedales artificiales, una alternativa ya aplicada es con carreras sobre Ingeniería Ecológica, donde se instruye sobre la opción de estrategias sustentables.

Estudios sobre el uso de sustratos y vegetación ornamental son prioritarios para hacer la ecotecnología más económica y factible en sitios rurales principalmente, donde difícilmente se instalan sistemas de tratamiento de aguas residuales.



**Figura 3. Principales procesos de tratamiento de aguas residuales por caudal tratado, 2015.**

Fuente: CONAGUA (2016).

### Costo del tratamiento del agua en México

En materia de la contabilidad ambiental de los recursos hídricos, un elemento de las cuentas ambientales se refiere a la estimación del costo de tratamiento del agua residual no tratada, en el año 2015 este costo fue de 57 403 millones de pesos. La información así producida provee contexto para la toma de decisiones en políticas públicas. Al 2015 los costos totales por agotamiento y degradación del medio ambiente (907 473 millones de pesos) son más de cinco veces mayores que los gastos en protección ambiental para ese año (141 933 millones de pesos) (Conagua 2016, Inegi 2016). Lo anterior nos brinda un ejemplo de los altos costos que implican las afectaciones al ambiente, incluyendo los recursos hídricos en México.

A través de la colaboración internacional se ha desarrollado el Sistema de Cuentas Ambientales y Económicas (SCAE), que es un conjunto de tablas, reglas de contabilidad, clasificaciones, definiciones y conceptos estándares cuyo objetivo es producir estadísticas comparables a nivel internacional sobre el ambiente y su relación con la economía. En México el INEGI encabeza un esfuerzo interinstitucional para integrar las cuentas económicas y ecológicas de México, parte de las cuales son las cuentas ambientales y económicas

integradas del agua. Como resultado de la integración de estas cuentas, se han identificado aspectos de la valoración económica del impacto ambiental como consecuencia de la producción, distribución y consumo de bienes y servicios.

De esta forma se puede cuantificar en valores monetarios el agotamiento anual del agua subterránea, que para el año 2012 fue estimado en 29 478 millones de pesos, que equivale a 1.5 veces el gasto de los hogares en cuidados de la salud. Otra comparación relevante es la estimación del costo de tratamiento del agua residual no tratada al 2012, por 64 632 millones de pesos. Esta información provee un contexto para las decisiones de políticas públicas. Al 2012 los costos totales por agotamiento y degradación del medio ambiente (985 064 millones de pesos) fueron casi siete veces mayores que los gastos en protección ambiental para ese año (143 066 millones de pesos) Economía 2015a, Inegi (2014), Unstats (2012), Unstats (2014).

En México, el municipio está a cargo de la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Las tarifas por la prestación de estos servicios varían considerablemente de acuerdo a la legislación de cada entidad federativa. En algunas entidades federativas, las tarifas son aprobadas por el congreso local de la entidad, mientras que en otras las aprueba el órgano de gobierno o consejo directivo del organismo operador de agua potable del municipio o localidad o de la comisión estatal de aguas (CONAGUA, 2016).

Las tarifas, en principio, tienen como objetivo recuperar los costos incurridos por el prestador de servicios. En el 2009 se publicó la norma mexicana sobre la evaluación de tarifas (NMX-AA-147-SCFI-2008), la cual contiene una definición de dichos costos. El nivel tarifario, o pago debido, se expresa en una estructura tarifaria, la mayoría de las veces diferenciada por los tipos de usuario (domésticos, comerciales e industriales, ente otros).

Las estructuras tarifarias de servicio medido (el cobro se calcula en función del volumen

consumido) son generalmente de bloques incrementales, es decir, a mayor consumo de agua el precio por metro cúbico es mayor. Las tarifas de agua generalmente comprenden: Cargos fijos, independientes del volumen empleado, cargos variables por concepto de abastecimiento de agua, en función del volumen empleado, cargos variables por concepto de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, generalmente aplicados como un porcentaje de los cargos por concepto de abastecimiento de agua.

### **Oportunidad del uso de eco tecnologías para el buen uso del agua en México**

El Estado enfrenta un enorme reto para que los municipios provean a la población los servicios de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales, y cumplir con el derecho humano al agua, que se refiere al acceso de agua suficiente, salubre, aceptable y asequible, tal como lo establece la ley. En este sentido, en el PNH 2014-2018 se planeó impulsar acciones para incrementar y mejorar el tratamiento de las aguas residuales municipales, e industriales. Para lograr esto se requiere la participación conjunta y coordinada de múltiples instituciones de los distintos órdenes de gobierno y la sociedad, cada una de las cuales deberá asumir la responsabilidad que le corresponda y actuar conforme sus atribuciones y ámbito de competencia. En este mismo sentido, en la estrategia 3.1 del mismo documento se planeó: Crear infraestructura para aprovechamiento de nuevas fuentes de abastecimiento, ampliar y mejorar el uso de fuentes de agua alternativas como la desalinización y cosecha de lluvia. Así como construir nueva infraestructura de tratamiento de aguas residuales y colectores e impulsar el saneamiento alternativo en comunidades rurales, difundir tecnología apropiada de suministro de agua, incluyendo: captación de lluvia y niebla, cisternas, dispositivos de bombeo, filtración y desinfección. Además de difundir tecnología apropiada de saneamiento, construcción de baños y lavaderos ecológicos, biodigestores, biofiltros, humedales, entre otros. Parte de la población rural se encuentra dispersa en pequeñas localidades; por ello se impulsará el desarrollo de

sistemas alternativos para acercar el agua a través de hidrantes públicos y captaciones de agua pluvial, entre otros. Asimismo, se impulsará el saneamiento básico. Como se puede ver ya se están incluyendo en las planeaciones nacionales el uso, diseño y aplicación de diferentes ecotecnologías para el buen uso y/o tratamiento del agua lo cual representa una oportunidad para estas tecnologías alternas.

### **Ecotecnologías**

Por otro lado, las plantas de tratamiento que existen utilizan tecnologías contaminantes, son altas en uso de energía y producen desechos tóxicos como resultado de su operación. Para ir construyendo una infraestructura urbana sustentable, es necesario optar por tecnología alternativa que permita reutilizar los caudales y/o regresarlos a la naturaleza con buena calidad, sin hacer un uso intensivo de energía y sin producir contaminantes (Lahera, 2010).

Existe un vínculo claro entre la gestión sostenible de las aguas residuales y los ecosistemas saludables, y si se gestiona bien, esta relación puede ser mutuamente beneficiosa. (Por ejemplo, pantanos construidos, jardines de lluvia, estanques de retención biológica), que pueden proporcionar servicios tales como la filtración de sedimentos y la eliminación de la contaminación, comparables a ciertas funciones de "infraestructura gris" (por ejemplo, sistemas convencionales de drenaje por tubería y sistemas de tratamiento de agua). (Lowrance et al., 1995).

El aprovechamiento previsto de las aguas residuales para los servicios de los ecosistemas, la recuperación y reutilización del agua ya no son un lujo sino una necesidad, especialmente en los países escasos de agua, donde muchas ciudades y organismos ambientales ya utilizan aguas residuales parcialmente tratadas para crear lagos artificiales o humedales, así como regar campos de golf, parques y jardines. Además de la irrigación del paisaje, el agua regenerada se ha utilizado para manejar los humedales naturales en España y México (Otoo et al., 2015) para asegurarse de que los niveles de agua se mantienen incluso en períodos de sequía.

### **La educación ambiental como estrategia para la concientización sobre el buen uso del agua y el conocimiento sobre eco tecnologías sustentables**

La educación y participación activa del público son consideradas necesarias para que las sociedades informadas puedan promover la gestión sostenible del recurso hídrico. Es necesaria una inversión continua en sólidos conocimientos científicos, la generación y la integración de datos sobre los diferentes aspectos del agua en México. También existe una mayor necesidad de ampliar redes de educadores ambientales donde se puedan compartir experiencias, información, mejoras tecnológicas, beneficios medibles y lecciones aprendidas. Por otra parte, un esfuerzo continuo de creación de capacidades para diferentes grupos de interés es un activo para apoyar la recuperación y mantener la sostenibilidad de los ecosistemas marinos y costeros en un mundo cambiante.

Desde 1983 el Gobierno mexicano comenzó a promover la educación ambiental. Diferentes esfuerzos para impulsar la educación ambiental han sido desarrollados por los gobiernos y la sociedad civil. Hoy en día, existen mecanismos legales que apoyan las acciones de educación ambiental para el desarrollo sostenible en México. Un ejemplo de esto es el Compromiso Nacional de Educación para la Sustentabilidad que se firmó en 2005 con el objetivo principal de establecer las condiciones institucionales para desarrollar una estrategia nacional de educación para la sustentabilidad. Varios factores han establecido las líneas de base para empezar a trabajar a través de una estrategia nacional.

La cultura del agua busca lograr un cambio positivo en la participación individual y social en torno al uso sustentable del agua. Una de las principales acciones en México es la creación y fortalecimiento de los espacios de cultura del agua (ECA). EL ECA es un centro de atención para realizar actividades de promoción, información y capacitación, de acuerdo a la problemática local y nacional del agua, contribuyendo al uso y consumo sustentable del recurso entre la población donde se ubica y las zonas aledañas, fomentando así el cambio de

actitudes y participación en los ámbitos individual y social.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aún falta mucho por hacer en materia de agua en México. Si bien es cierto que se han incrementado los porcentajes de abastecimiento de agua y servicios de saneamiento, aún no se satisface al 100% de esta demanda considerando además las necesidades futuras que se pueden surgir por el incremento de la población entre otros aspectos. Una de las prioridades es garantizar que las aguas residuales generadas se les de un tratamiento efectivo en su totalidad. Por ello se debe garantizar que todos los habitantes tengan acceso a una forma segura de disponer de sus aguas, evitando problemas de salud pública sin afectar al medio ambiente y que garanticen la gestión integral de los recursos hídricos.

Ante los incrementos en los costos de operación y electricidad así como la necesidad urgente de dar tratamiento a las aguas residuales de una manera eficaz y económica las eco tecnologías para el tratamiento de aguas residuales deben considerarse como una forma alternativa y a la vez integral de dar solución a esta problemática, principalmente en las comunidades rurales y/o sitios que actualmente descargan sus aguas residuales a cielo abierto y cuerpos de agua. Adicionalmente, las autoridades deben enfocar además sus esfuerzos en el cumplimiento de la normatividad en las descargas de aguas residuales, y el reúso de aguas residuales tratadas, así como incrementar los monitoreos de la calidad del agua e impulsar programas de educación ambiental y aplicación de las diversas eco tecnologías.

Para lograr el éxito de los diferentes proyectos y programas en torno al manejo integral de los recursos hídricos en México resulta importante y urgente la suma de esfuerzos, así como la coordinación y el trabajo conjunto de los tres órdenes de gobierno, los centros de investigación, la iniciativa privada y la sociedad en general.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-Ashour, J. y Lee, H. 2000. Transport of bacteria on sloping soil surfaces by runoff. *Environmental Toxicology* 15(2):149–153.
- Bahemuka, T.E., Mubofu, E. B. 1999. Heavy metals in edible green vegetables grown along the sites of the Sinza and Msimbazi Rivers in Dares Salaam, Tanzania. *Food Chemistry* 66(1):63–66.
- Conagua. 2014. Estadísticas del Agua en México. Gobierno federal.
- Conagua. 2016. Subdirección General de Agua Potable, Drena- je y Saneamiento.
- Conagua. 2018. Estadísticas del agua en México. Gobierno federal.
- De la Peña M. E., Ducci J. y Zamora V. 2013. Tratamiento de aguas residuales en México. Con aportaciones de Roberto Contreras, Gerente de Potabilización y Tratamiento, CONAGUA. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D., Savelli, H. (eds). 2014. Sick water? The central role of wastewater management in sustainable development. – A rapid response assessment. United Nations Environment Programme, UN-HABITAT, GRID-Arendal. Consultado en: [http://www.unwater.org/downloads/sickwater\\_unep\\_unh.pdf](http://www.unwater.org/downloads/sickwater_unep_unh.pdf) (15/08/2014)
- Demirbas A. 2008. Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: A review. *Journal of Hazard Materials* 157:220–229.
- DOF: 08/02/2012. DECRETO por el que se Declara reformado el párrafo quinto y se adiciona un párrafo sexto recorriéndose en su orden los subsecuentes, al artículo 4o de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Presidencia de la República.
- Hanjra M. A., Blackwell J., Carr G., Zhang F., Jackson T. 2011. Wastewater irrigation and environmental health: Implications for water governance and public policy.

- International Journal of Hygiene and Environmental Health Volume 215, Issue 3. Pages 255–269
- ISWS. 1995. International statistics for water supply. Londres, International Water Supply Association (IWSA) Statistics and Economics Committee.
- Jiménez-Cisneros, B. 2008. Unplanned reuse of wastewater for human consumption: The Tula Valley, Mexico. B. Jiménez-Cisneros and T. Asano (eds), Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs. Scientific and Technical Report No. 20. London, IWA Publishing
- Lahera R. V. 2010. Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales. Quivera [en línea] 2010, 12 (Sin mes) : [Fecha de consulta: 9 de marzo de 2017] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40115676004>> ISSN 1405-8626
- Laino-Guanes, Bello-Mendoza R., González-Espinosa M. Ramírez-Marcial N., Jiménez-Otárola F. y Musálem-Castillejos K. 2015. Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(4), 61-74. Recuperado en 04 de abril de 2017, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222015000400004&lng=es&tln=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000400004&lng=es&tln=es).
- LEY DE AGUAS NACIONALES. Diario Oficial de la Federación el 1° de diciembre de 1992. Última reforma publicada DOF 24-03-2016
- LEY GENERAL DE SALUD. Diario Oficial de la Federación el 7 de febrero de 1984. Últimas reformas publicadas Diario Oficial de la Federación 27 de abril de 2010.
- Muchuweti, M., Birkett, J.W., Chinyanga, E., Zvauya, R., Scrimshaw, M.D., Lester, J. N. 2006. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixture of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: implications for human health. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 112:41–48.
- Naciones Unidas, Organización Mundial de la Salud, Comité de Derechos Humanos. El derecho al agua. Folleto informativo No 35. Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos, Palais des Nations, 8-14 avenue de la Paix, CH-1211 Ginebra 10, Suiza.13-16, 2011.
- NOM-001-Semarnat-1996. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas o bienes nacionales. Publicada el 6 de enero de 1997.
- NOM-002-Semarnat-1996. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Publicada el 3 de junio de 1998.
- NOM-003-Semarnat-1997. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios públicos. Publicada el 21 de septiembre de 1998.
- NOM-004-Semarnat-2001 Establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final. Publicada el 15 de agosto de 2003.
- NOM-127-SSA1-1994. Norma Oficial Mexicana "salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".
- Numeragua México, 2015. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Comisión Nacional del



- Agua (CONAGUA). Subdirección General de Planeación.
- Numeragua México, 2016. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Subdirección General de Planeación.
- Núñez García A. L. 2015. Tesis de licenciatura "Caracterización de la problemática de las aguas residuales en Ixmiquilpan Hidalgo". Universidad Autónoma Metropolitana División de Ciencias Sociales y Humanidades. Licenciatura en Geografía Humana. Pág. 11, 43-50.
- OMS, 1995."The World Health Report". Bridging the gaps. Ginebra, Organización Mundial de la Salud.
- OMS, 2012. Informe del GLAAS de 2012: Análisis y evaluación mundiales del saneamiento y el agua potable de ONU-Agua. El reto de ampliar y mantener los servicios. ISBN: 978 92 4 350336 3.
- OMS, 2017. Hojas informativas relacionadas con el agua. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/diseasefact/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasefact/es/)
- OMS. 2000. International Conference on Environmental Threats to the Health of Children: Hazards and Vulnerability. Bangkok, 3-7 March. Final Conference Report. World Health Organization. Geneva, 2000.
- OMS-UNICEF, 2014. Progresos en materia de agua potable y saneamiento. Informe de actualización (2014). ISBN: 978 92 4 350724 8.
- OPS, 1999. Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud. "Agua y salud" serie de fascículos: Autoridades locales, medio ambiente y salud.
- Ortiz Pérez María Deogracias. 2015. "El agua para consumo humano en México". [http://www.scjn.gob.mx/normativa/analisis\\_reformas/Analisis%20Reformas/00130218.pdf](http://www.scjn.gob.mx/normativa/analisis_reformas/Analisis%20Reformas/00130218.pdf).
- Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Gobierno de la República. Pag. 43 y 134.
- PNH 2014-2018 Programa Nacional Hídrico 2014-2018. Gobierno de la República. Pág. 69-71
- Prüss-Üstün A., Corvalán C., 2006. Ambientes saludables y prevención de enfermedades: hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente. [En línea]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; URL disponible en: [http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9243594206\\_spa.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9243594206_spa.pdf)
- Redondo-Gomez S., Cantos M., Mateos-Naranjo E., Figueroa M. E., Troncoso A. 2009. Heavy metals and trace element concentrations in intertidal soils of four estuaries of SW Iberian Peninsula. *Soil & Sediment Chemistry* 18:320-327.
- Riojas-Rodríguez H., Schilman, A., López-Carrillo L., & Finkelman, J. 2013. La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futuras. *Salud Pública de México*, 55(6), 638-649.
- Salud. 2016. Indicadores de resultado de los sistemas de salud. Consultado en: <http://www.gob.mx/salud/documentos/indicadores-de-resultado-de-los-sistemas-de-salud?state=published> (15/06/2016).
- Sepúlveda, J., Bustreo, F., Tapia, R., Rivera, J., Lozano, R., Olaiz, G., Partida, V., García-García, ML y Valdespino, JL. 2007. "Aumento de la sobrevida en menores de cinco años en México: la estrategia diagonal". En: *Salud Pública de México*. Vol.49, Suplemento 1 de 2007.
- Srinivasan J.T. and Reddy V. R. 2009. Impact of irrigation water quality on human health: A case study in India. *Ecological Economics* 68 (2009) 2800-2807.
- WHO. Guidelines for drinking-water quality, third edition, incorporating first and second addenda. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3rev/en/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/index.html)

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2017. The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. Paris, UNESCO.