

### **Capítulo 3: Problemática del agua y la importancia de las aguas subterráneas**

La industria, las grandes urbes y en general la actividad humana han generado cambios radicales en los ecosistemas, tales como: la pérdida de la cubierta vegetal que ocasiona erosión, producción de gases contaminantes y residuos sólidos, entre muchos otros. Parte de esas afectaciones tienen relación con la crisis del agua. Para un manejo más eficiente del recurso hídrico es necesario desarrollar una cultura social que comprenda el problema. Estudiar desde temprana edad el agua, favorece la creación de segmentos sociales comprometidos con el uso de un recurso difícil de distribuir a toda la población. El agua tiene un ciclo natural que ha sido desequilibrado por la actividad del hombre. Para contrarrestar este impacto, es necesario estudiarlo y aplicar métodos con el objetivo de recuperar el equilibrio. Si no se toman acciones, según datos de diferentes organizaciones internacionales, en las próximas décadas el problema será irremediable. Con respecto a los problemas del agua la ONU, a través del Programa Mundial de Evaluación de Recursos Hídricos, menciona:

En los tres años transcurridos desde el lanzamiento del primer Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo en 2003, el mundo ha sido testigo de considerables cambios. Se han observado numerosos e importantes desastres relacionados con el agua: el tsunami en el océano Índico, en 2004; los huracanes en el Caribe, el Pacífico Oeste y Estados Unidos, en 2004 y 2005; las inundaciones en Europa Central, en Europa del Este y en otras muchas regiones, en 2005; y grandes sequías en Niger, Mali, España y Portugal. Todos ellos son un recordatorio constante del poder destructivo del agua y de la miseria que supone su carencia en tantas regiones del mundo. (UNESCO, 2005, p. 1).

Los desastres tienen relación con el impacto del hombre sobre el ciclo hidrológico. A continuación se explicarán las partes que lo componen para resaltar la importancia de su equilibrio natural. Además, se establecerá el panorama general de la crisis del agua en el mundo y específicamente en México.

### **3.1 El ciclo hidrológico**

Según la revista Tecnología Ambiental, un volumen importante de agua cubre el planeta. Aproximadamente, entre un 70 y 75% del líquido sirve para regular la temperatura del planeta (2006, p 14). La naturaleza cuenta con un sistema que permite equilibrar la distribución del agua. Para comprender las afectaciones causadas por el hombre, es necesario estudiar el ciclo hidrológico o ciclo del agua.

La educación básica en México contempla, en diferentes cursos y niveles escolares, el estudio del agua. Según un estudio del Museo de Historia Natural de San Diego que correlaciona el agua en la enseñanza de las Ciencias Naturales en México: durante el primer grado se aborda la importancia del agua para la vida y sus estados físicos; en el segundo grado se enseña su relación con algunos fenómenos naturales (nubes y lluvia, día y calor, noche y frío); en tercer grado, el agua y el aire relacionados con las plantas y, hasta el sexto grado, el ciclo natural del agua. Sin embargo, la explicación del ciclo hidrológico es superficial, es decir, no se estudian con detalle sus componentes y la relación con el medio ambiente. Se enseña de manera escueta, la evaporación, la condensación y la precipitación dejando a un lado partes como la evotranspiración, la escorrentia o la infiltración. Ante lo anterior, es importante generar productos de divulgación que permitan comprender una visión integral del ciclo.

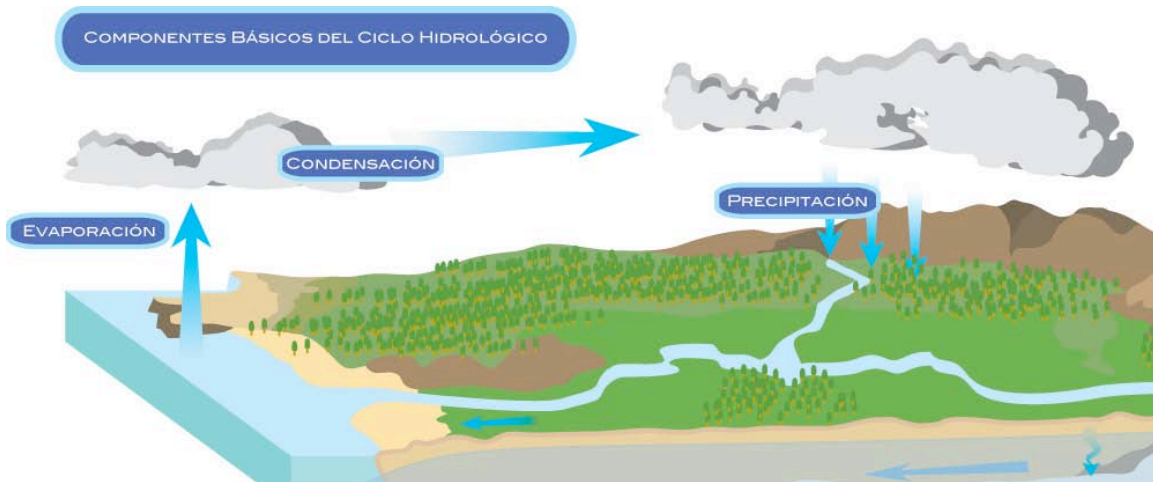


Figura 3.1: Esquema sintético del ciclo del agua.

En el número especial del Agua del periódico La Jornada se define el ciclo hidrológico:

Conjunto de fenómenos físicos en los que concurre el agua. El ciclo se inicia con la evaporación que se produce en los depósitos acuíferos y en los campos. Los vapores resultantes se elevan y forman nubes, que los condensan y de nuevo la vuelven líquida, en diversas formas de precipitación. La lluvia es la más fuerte de éstas. Al caer escurre por la superficie de la tierra o se infiltra hacia el interior. Una parte circula después por los ríos o por el subsuelo, alimentando, lagos, mares, depósitos subterráneos. El resto lo toman los vegetales o se evapora, para reiniciar el proceso. (Monteverde, Belardino, Bravo, Ortíz, 2005, p. 298)

El ciclo hidrológico debe entenderse como un fenómeno natural donde el agua permanece en constante movimiento, cambiando de un estado a otro; ya sea líquido (ríos, aguas subterráneas), gaseoso (nubes y vapor) o sólido (granizo, nieve, témpanos).



Figura 3.2: El ciclo hidrológico como ocurre en la naturaleza sin la interacción con el hombre.

Para comprenderlo en su totalidad el ciclo hidrológico, es conveniente definir sus partes:

- Evaporación: el agua puede encontrarse en tres estados, cuando el Sol calienta los mares u otros depósitos superficiales, ésta cambia de su forma líquida a la gaseosa subiendo a la atmósfera. La evaporación existe tanto en los mares como en los continentes.
- Condensación: cuando el vapor de agua se concentra en la atmósfera se crean nubes que contienen grandes concentraciones de agua. Éstas, gracias a la acción del viento, tienen la capacidad de recorrer cientos de kilómetros hasta llagar a zonas más elevadas dentro de los continentes.

- Precipitación: cuando el agua contenida en las nubes se concentra en extremo se convertirá nuevamente en líquido o, en algunos casos, en sólido (granizo por ejemplo). Las partículas, por el efecto de la gravedad, descenderán a la superficie distribuyéndose en diferentes lugares como, lagos, montañas o ríos subterráneos. En muchos casos el agua se almacena en acuíferos (capas de rocas con la capacidad de almacenar grandes cantidades de agua).
- Escorrentía: es la capacidad del agua para escurrirse o circular por diferentes zonas como lo serían: la saturada y la no saturada. Según López-Geta, Fornés, Ramos y Villarroya (s. f., p. 12), las anteriores son:
  - Zona saturada: franja del terreno situada por debajo de cierta profundidad donde el agua ocupa la totalidad de los huecos.
  - Zona no saturada: terreno comprendido entre la superficie del suelo y la zona saturada. En ella los poros están ocupados por aire y agua.

Es decir, que durante el escurrimiento, el agua puede circular y acumularse sobre una zona de roca impermeable para formar un acuífero. En otras ocasiones, se acumula entre rocas porosas con diminutas cavidades donde comparte espacio con el aire.

Los expertos del Instituto Geológico y Minero de España, añaden que la escorrentía del agua puede ocurrir de varias formas:

- Escorrentía superficial directa: parte del agua de la lluvia que circula por la superficie del terreno, y confluye a los ríos, arroyos y otras masas de agua.

- Escorrentía superficial o hipodérmica: parte de la precipitación que se infiltra, circula por la parte superior del terreno sin llegar a la zona saturada y reaparece en superficie, incorporándose a la escorrentía superficial directa.
- Escorrentía subterránea: parte del agua infiltrada que recarga la zona saturada y circula por los acuíferos.
- Escorrentía total: fracción de la precipitación caída en una cuenca vertiente que escapa a la evapotranspiración y circula superficial y subterráneamente. López-Geta, et al (s. f., p. 12).
- Infiltración: además de la escorrentía, en el ciclo del agua existe otro proceso que tiende a omitirse. La infiltración se explica como: la “...cantidad de agua precipitada que atraviesa la superficie del terreno y pasa a ocupar, total o parcialmente, los poros, fisuras y oquedades del suelo” López-Geta, et al (s. f., p. 12). La infiltración, es de gran importancia pues el agua que logra acumularse forma los acuíferos, lugar donde se encuentra una importante cantidad del total del agua dulce. De éstos y su importancia se hablará un poco más adelante.
- Percolación: movimiento del agua u otro líquido a través de los intersticios del terreno. Se suele aplicar al flujo vertical a través del medio no saturado.
- Recarga: parte del agua infiltrada que alcanza la zona saturada. (López-Geta, et al. 12)

El ciclo hidrológico conlleva el movimiento constante del agua y cada una de las etapas definidas participa de forma dinámica. La percolación juega un papel fundamental pues coopera con el desplazamiento natural del agua para que ésta llegue al subsuelo y abastezca los acuíferos. La escorrentía superficial, se encarga de llevar a los acuíferos libres (acumulaciones de agua que tienen contacto con el aire), el líquido. El desplazamiento paulatino del agua permite que ésta llegue con cierta regularidad al mar donde, gracias a la acción del Sol, se pueda iniciar la evaporación.

Para ejemplificar los conceptos anteriores se presenta el siguiente esquema:

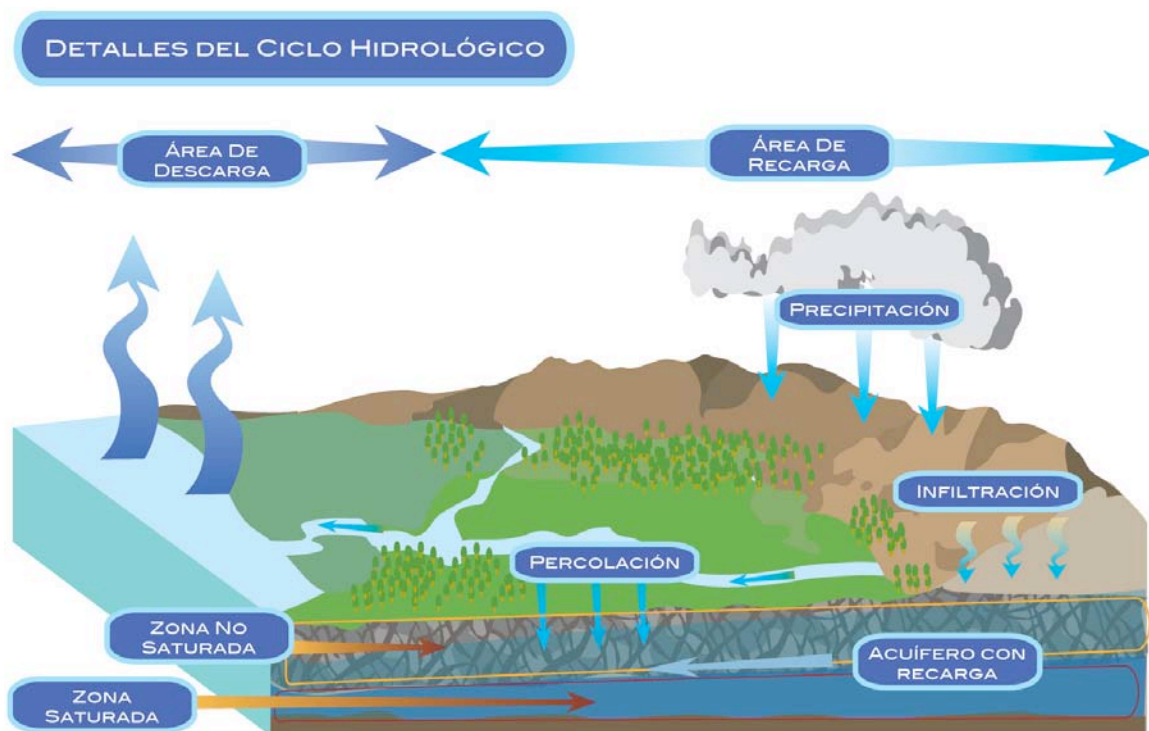


Figura 3.3: Detalles del ciclo hidrológico

- Cuenca: cuando el agua de la lluvia se precipita, cae sobre las cuencas que son “concavidades creadas por la naturaleza en la superficie de la Tierra mediante las fuerzas tectónicas, la fuerza del agua y sus corrientes,

los tipos de suelos, la vegetación y otros factores” (Centro Mexicano de Derecho Ambiental [CEMDA], Fondo Educación Ambiental [FEM], 2006, p. 22). Las cuencas, ya sean hidrográficas o hidrológicas, son de importancia al realizar estudios hidrogeológicos, pues ayudan a determinar la dirección de flujo superficial de la lluvia. Lo anterior permite establecer las zonas con mayor acumulación de agua.

- Nivel freático: según López-Geta, et al. (p. 13), “conforma el límite superior de la zona saturada en un acuífero libre. Es el lugar geométrico de los puntos de un acuífero libre que se encuentra a la presión atmosférica. Su altura en un acuífero libre viene determinada por la cota que alcanza el agua en un pozo poco penetrante en reposo”.

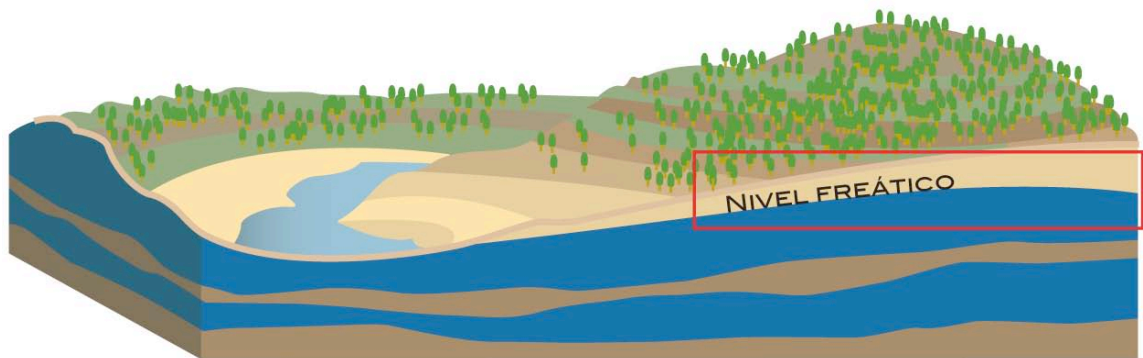


Figura 3.4: El recuadro rojo muestra la zona del nivel freático

- Área de recarga y descarga: el ciclo hidrológico se puede llevar a cabo en cientos de miles de kilómetros. Los lugares donde desciende el agua de la precipitación, ya sea para escurrirse o infiltrarse, son denominados área de recarga. El lugar donde se evapora el agua de los acuíferos libres o del mar es denominada área de descarga. Para solventar un desarrollo sostenible en las ciudades, el equilibrio entre ambas áreas es indispensable. Si se extrae más agua de la que el acuífero puede recargar se provocará su sobre explotación.

Las definiciones anteriores permiten comprender la complejidad del ciclo hidrológico. Sin embargo, la relación equilibrada del uso del agua también debe contemplar a los actores sociales (ya sean gobernantes, la población en general o la ciencia). De la interacción de todos depende el correcto aprovechamiento de los recursos hídricos. Aunque en la naturaleza existe el ciclo hidrológico por sí sólo, el agua siempre ha desempeñado una función importante para el hombre. Al incorporarla en sus actividades ha impactando constantemente los ecosistemas. En el informe de la región Asia-Pacífico presentado en el 4to. Foro Mundial del Agua se hace referencia al ciclo hidrológico como un sistema integral más allá de la simple naturaleza:

Cinco ministros que participaron en la administración de los recursos hídricos constituyeron una comisión interministerial respecto al establecimiento de un sistema hidrológico y definieron el ciclo hidrológico sólido como: “un estado en el que las funciones del agua para actividades de la sociedad humana y para conservación ambiental conviven en un estado de balance adecuado”. (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], p. 47).

El ciclo hidrológico no sólo se debe considerar como el sistema que la naturaleza desarrolló hace millones de años. Es también la suma de factores sociales que permiten un balance entre la recarga y descarga de los acuíferos. Japón, por ejemplo, contempla la importancia de mantener un equilibrio en el uso del agua. Para que el sistema sea integral, han implementado medidas de control de inundaciones, procedimientos de protección y control del agua para la agricultura, la protección y el mantenimiento de los bosques y la flora, y han desarrollado complejas plantas de tratamiento y potabilización del agua. Todo inmerso en una ley básica ambiental que promueve la conciencia en toda la

población. Como Japón, cada vez son más los países que están adoptando un enfoque de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (en inglés: Integrated Water Resources Management, IWRM).

Registrar el impacto del hombre en el ciclo hidrológico es importante. Cada gota utilizada representa una modificación en el equilibrio natural. Numerosos escenarios sirven para ejemplificarlo. El caso del Distrito Federal es uno: “En esta región casi el 70% del agua que llueve se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el resto escurre por los ríos o arroyos o se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos” (CONAGUA, 2005, p. 34). Debido al crecimiento de la mancha urbana, se ha creado un desequilibrio. El consumo excesivo de agua, así como la extensión del pavimento hacia las zonas de recarga, han ocasionado la sobreexplotación del acuífero. En la actualidad, los niveles freáticos son bajos y la calidad del agua ha disminuido por la contaminación antropogénica. Legorreta (2005, p. 250) indica que en el Valle de México, en poco menos de 500 años se han extinguido los cinco grandes lagos que se encontraban presentes en la zona. El crecimiento desmedido de la población y el consecuente incremento en el uso del agua, han sido los factores más importantes esto ocurriera.

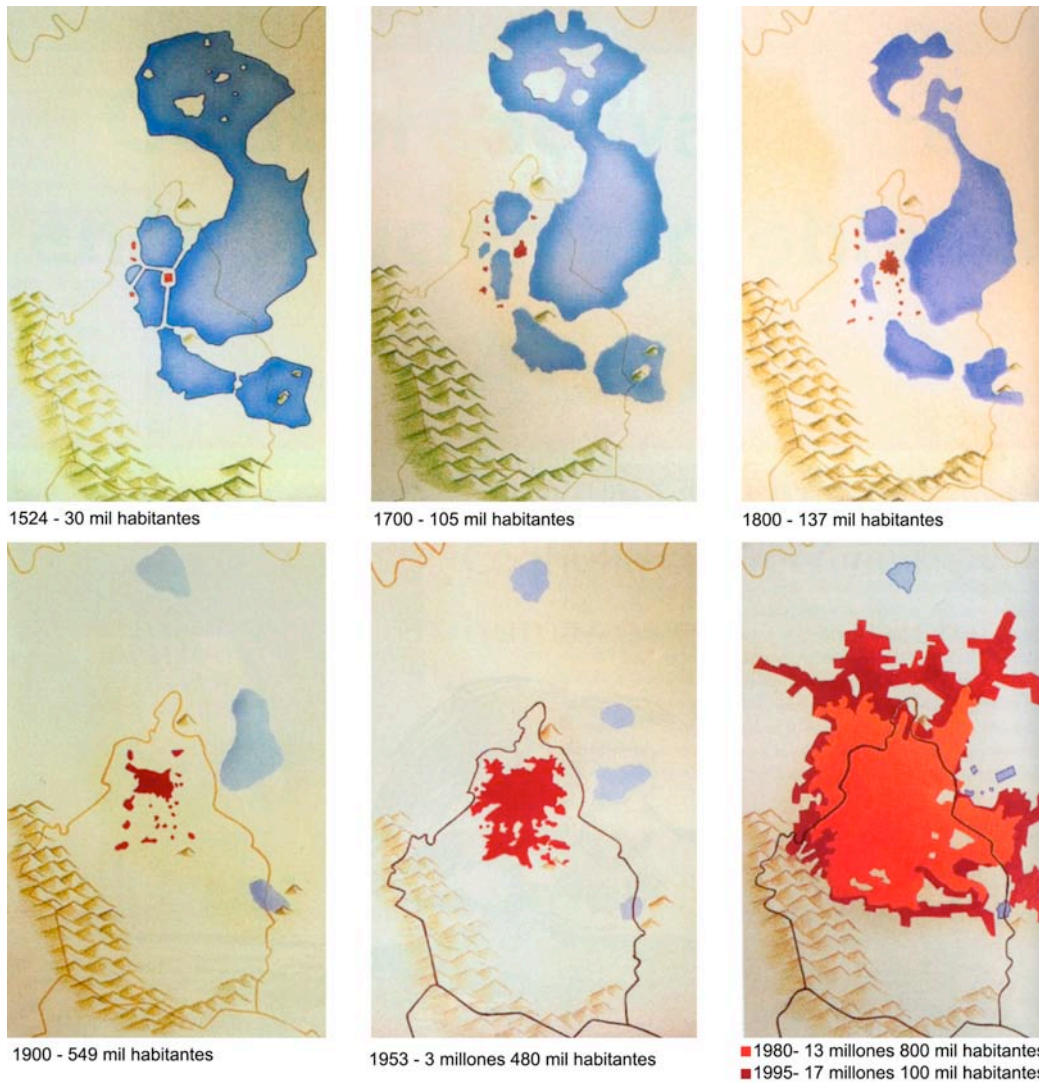


Figura 3.5: Crecimiento de la mancha urbana y la pérdida de los lagos del Valle de México. Tomado de Legorreta, 2005.

El esquema del ciclo hidrológico que considera el impacto del crecimiento urbano y el desarrollo industrial y agrícola, permite ejemplificar los aspectos que modifican el equilibrio natural. A continuación se describen algunos ejemplos:

- Los desarrollos turísticos deben cuidar el tratamiento de las aguas negras, si no se implementan sistemas de saneamiento la contaminación afectará todo el ecosistema.

- La agricultura es una de las actividades humanas donde mayor consumo de agua se requiere. En ella se utilizan fertilizantes y químicos que, al aplicarse de manera indiscriminada, ocasionan la contaminación de acuíferos por medio de infiltración. Los costos de remediación son millonarios.
- Aunado al crecimiento de la mancha urbana viene la deforestación. La evotraspiración ayuda a mantener la humedad y participa en la generación de nubes que mantienen el equilibrio del ciclo. Desaparecer la vegetación impacta en la pérdida de agua y en el descenso del nivel de los acuíferos.
- En las grandes urbes se consumen más de 100 litros de agua per capita al día:

En una ducha de cinco minutos	100 litros
Descarga del baño	16 litros
Lavado de ropa	30 litros
Lavado de platos	27 litros
Jardín	18 litros
Lavar y cocinar alimentos	15 litros
Otros usos como beber y lavarse la manos	10 litros

Tabla 3.1: Consumo de agua en las grandes urbes. Datos extraídos de la revista Tecnología ambiental (2005, p. 12)

- Además, la poca cultura del agua, genera que los ciudadanos no se preocupen por las fugas. Estudios realizados en la UNAM, detectaron que cerca del 40% del agua que abastece a la Ciudad de México se pierde por diferentes tipos de fugas. La tabla presentada por la Asamblea Legislativa del Distrito Federal, III legislatura complementa los datos:

<b>Numeralia del agua en la Ciudad de México</b>	
Sobreexplotación de los acuíferos	120%
Centímetros de hundimiento del DF en un año	30
Cuerpos de agua altamente contaminados	70%
Agua residual tratada	20%
Agua que se reutiliza	5%
Agua potable que se pierde en fugas	35%
Agua que traemos de otra entidades	30%
Tomas clandestinas existentes	20%
Cobro por agua suministrada de uso doméstico	50%
Agua que consume el sector doméstico	80%
Precio promedio del agua potable de uso doméstico	\$ 2 por m <sup>3</sup>
Precio promedio del agua de pipa	\$ 15 por m <sup>3</sup>
Precio promedio del agua de garrafón	\$ 1,000 por m <sup>3</sup>
Precio promedio del agua embotellada	\$ 10,000 por m <sup>3</sup>
Agua proveniente del Sistema Cutzamala para el DF	12 m <sup>3</sup> /seg
Agua que se fuga en la red	11 m <sup>3</sup> /seg

Tabla 3.2: Datos relacionados con el agua y el Distrito Federal

- La industria afecta de manera directa el ecosistema. Es necesario que los gobiernos exijan un mejor control de calidad para que los desechos sean tratados de manera eficiente.

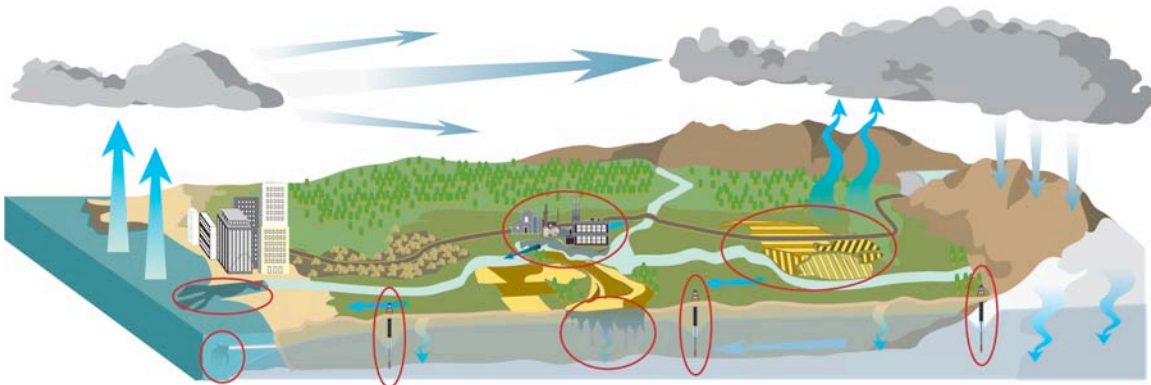


Figura 3.6: El esquema muestra algunas afectaciones del ciclo hidrológico ocasionadas por el hombre: por extracción de agua desmedida, desechos industriales y de los complejos turísticos, pesticidas y deforestación entre otros.

El impacto ambiental detectado sobre el ciclo hidrológico ha incrementado los estudios sobre recursos hídricos. Desde hace algunas décadas y sobretodo, desde el Primer Foro Mundial del Agua realizado en el año de 1997 en Marrakech, Marruecos, países de todo el mundo han unido esfuerzos para tomar acción. Ellis (1999) resume el resultado de 52 estudios relacionados con el impacto de las áreas urbanas al ciclo hidrológico, concluyendo que:

*infiltration and recharge to aquifers systems are reduced and surface runoff is increased in both volume and rate due to growth in the impermeable surface areas leading to increased downstream flooding;*

*declining water levels an land subsidence may occur due to groundwater mining;*

*pollutant loads to water courses and surface water bodies increase from surface runoff and sewage outfalls especially during storms in urban areas;*

*leakage to groundwater occurs from old and poorly maintained sewer;*

*extensive soil and groudwater are contaminated by industrial leakages, spills of hazardous industrial chemicals and poorly planned solid and liquid waste disposal practices;*

*increased artificial surface water infiltration and recharge from source control devices lead to poor groundwater quality; and*

*habitats and the diversity of species are reduced in receiving waters.*

En conclusión, el balance entre recarga y descarga de los acuíferos es uno de los principales puntos a considerar para el sustento de los ecosistemas. Sin embargo, el hombre debe analizar con detenimiento su papel en el desequilibrio del planeta: “Un principio fundamental de la termodinámica enunciado por el científico francés Antoine-Laurent (1743-1794), afirma que “la materia no se crea ni se destruye, se transforma”. Aplicado al agua, podemos confirmar que hoy tenemos la misma cantidad que hace 3 mil millones de años, pero la diferencia radica en la calidad y distribución de este recurso” (La Jornada, edición especial Agua, 2005, p.12). Si se cuenta con la misma cantidad de agua, entonces el problema no radica en el volumen, sino en la calidad y la forma de distribuir el líquido a toda la población. Según el informe del World Water Assessment Programme (2003) una de las metas es llevar, para el año 2015, agua potable a todos los hombres, promoviendo la reducción del índice de pobreza extrema en el mundo.

Literatura citada:

Asamblea Legislativa del Distrito Federal, III Legislatura en: (2006) Revista Tecnología Ambiental, información especializada en ecología y medio ambiente, edición especial. México. p. 39

Legorreta, J. en: (2005) Agua. La Jornada, edición especial. México. MBM Impresora. p. 250.

López-Geta, J. A., Fornés, J. M., Ramos, G., Villarroya, F. (s. f.). Las aguas subterráneas. Un recurso natural del subsuelo. Madrid, España. Instituto Geológico y Minero de España. p. 12, 13.

San Diego, Natural History Museum. Un Viaje Alrededor del Agua, Correlación con los Programas de Educación Básica de la SEP. (¶ 1). Recuperado el 22 de julio de 2006 de: <http://www.sdnhm.org/education/binational/curriculums/agua/core.html>

Young, E. en: (2003) Water for people, water for life, The United Nations World Water Development Report. World Water Assessment Programme. UNESCO. p. 88, 89.

(2003) Agua para todos, agua para la vida, Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, resumen. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. UNESCO.

(2005) Estadísticas del Agua en México 2005, Aguas del Valle de México y sistema Cutzamala, Región XIII. México. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. p. 34.

(2006) El agua en México: lo que todos y todas debemos saber. México. Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA), Fondo Educación Ambiental (FEM), Alianza por una Nueva Cultura del Agua. p. 22

(2006) El agua, una responsabilidad compartida, 2do. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, resumen ejecutivo. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. UNESCO. p.1

(2006) IV Foro Mundial del Agua, Documento de la Región Asia-Pacífico. World Water Council 4th. World Water Forum, Comisión Nacional del Agua. p. 47

(2005) Agua. La Jornada, edición especial. México. MBM Impresora. p. 12, 208.

(2006) Revista Tecnología Ambiental, información especializada en ecología y medio ambiente, edición especial. México. p. 12.