



Casa abierta al tiempo



COORDINACIÓN DE SERVICIOS
DOCUMENTALES - BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD IZTAPALAPA

DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA

**LA ECONOMÍA DEL AGUA EN MÉXICO,
REALIDADES Y PERSPECTIVAS**

TESIS QUE PRESENTA EL ALUMNO:

ALFREDO SAUCEDO DEL RIO

MATRÍCULA 92328822

PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE:

LICENCIADO EN ECONOMÍA

ASESOR:

DR. ALEJANDRO TOLEDO OCAMPO

OCTUBRE 2000

ÍNDICE

CAPÍTULO	PÁGINA
I.- EL CICLO HIDROLÓGICO	1
II.- LA OFERTA Y LA DEMANDA DEL AGUA EN EL MUNDO	8
II.1.- Demanda Global de Agua	13
II.2.- Demanda Creciente de Agua	15
II.3.- Enfoque Agrícola y de Irrigación	18
II.4.- El uso del Sector Industrial	23
III.- EL AGUA EN MÉXICO, LA SITUACIÓN DE SUS RECURSOS ACUÁTICOS	25
III.1.- Panorama General	25
III.2.- Oferta	26
III.3.- El Sistema Hidrológico Nacional	29
III.3.1.- Precipitación Pluvial	29
III.3.2.- Aguas Superficiales	30
III.3.3.- Aguas Subterráneas	33
III.3.4.- Aguas Salobres, Estuarinas y Costeras	34
III.3.5.- Medición	34
III.3.6.- Infraestructura de Regularización y Control	35
III.3.7.- Usos del Agua	35
III.3.7.1.- Uso Doméstico	36
III.3.7.2.- Uso Agrícola	38
III.3.7.3.- Uso Industrial	40
III.3.7.4.- Uso para la Generación de Energía Eléctrica	41
III.3.7.5.- Uso en Acuacultura y Pesca	43
III.3.7.6.- Uso para Recreación y Turismo	43
III.3.7.7.- Uso para la Navegación	44

225174

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA
SISTEMA NACIONAL DE SERVICIOS
DOCUMENTALES - BIBLIOTECA

III.3.7.8.-	Uso por el Medio Natural	44
III.4.-	El Agua en las Áreas Metropolitanas	45
III.5.-	Consecuencias de una Mala Administración	47
III.6.-	Objetivos y Estrategias Generales	48
III.7.-	Programas Específicos y Acciones	50
III.7.1.-	Programa de Manejo y Control del Sistema Hidrológico	50
III.7.2.-	Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento	52
III.7.3.-	Programa Hidroagrícola	54
III.7.4.-	Programa de Uso del Agua en la Industria, Generación de Energía Eléctrica, Acuacultura y Pesca	55
III.7.5.-	Programa de Uso de los Cuerpos de Agua para Recreación y Turismo, Navegación y el Medio Natural	57
III.7.6.-	Programa de Administración de los Usos del Agua	59
III.7.7.-	Programa de Tecnología y Capacitación	60
III.8.-	La Importancia del Agua como Ecosistema, Recurso y Receptor de Impactos	62
IV.-	LA SITUACIÓN EN EL VALLE DE MÉXICO	66
IV.1.-	Antecedentes Históricos	66
IV.2.-	Tradición Hidráulica	68
IV.3.-	La Oferta y la Demanda	78
IV.4.-	Sistema Cutzamala	80
IV.4.1.-	El Control de Calidad del Agua en el Sistema Cutzamala	87
IV.5.-	El Caso del Distrito Federal	88
IV.6.-	La Necesidad de Políticas de Uso Eficiente para alcanzar un Desarrollo Sustentable del Recurso	89
IV.7.-	El Papel de los Instrumentos Económicos: Prácticas de Conservación y Reciclaje	91
IV.8.-	El Caso del Agua en el Distrito Federal	92

IV.9.-	Una Nueva Estructura Tarifaria	.....	95
V.-	EL PROYECTO LAGO DE TEXCOCO, RESCATE HIDROECOLÓGICO	.....	100
V.1.-	Antecedentes	.....	100
V.2.-	Las Inundaciones	.....	102
V.3.-	Problemática	.....	106
V.4.-	Estudios y Planeación	.....	112
V.5.-	Estudio Hidrológico	.....	117
V.6.-	Manejo de la Cuenca	.....	119
V.7.-	Proyectos y Obras	.....	120
V.8.-	Plantas de Tratamiento	.....	124
VI.-	CONCLUSIONES	.....	128
	BIBLIOGRAFÍA	.....	137

En 1882, en una barranca cercana al Lago de Texcoco fue descubierto un enorme monolito de siete metros de altura que se hallaba sepultado. En febrero de 1965, plenamente identificado como Tláloc, fue removido por expertos arqueólogos auxiliados con grúas y cables metálicos, para colocarlo a la entrada del museo de Antropología e Historia, donde aún permanece. Los lugareños se oponían al traslado y la noche del día en que ocurrió comenzó una persistente lluvia que duró más de 26 horas.

EL CICLO HIDROLÓGICO

El agua es esencial para la vida, el crecimiento y la reproducción. Sin el agua, la vida no sería posible en este planeta. El agua es también fundamental en la operación de los sistemas económicos. Como factor económico, el agua produce energía, actúa como solvente en los procesos industriales, es un medio de transporte y es esencial para la producción de alimentos. Sin embargo, como consecuencia del incremento de la población mundial y del mejoramiento de sus condiciones de vida, se ha originado un aumento extraordinario en la demanda del agua. Por lo tanto, la previsión de un adecuado suministro de agua puede ser un parámetro que establezca las diferencias entre los países subdesarrollados y los países desarrollados.

En todo el mundo hay una cantidad suficiente de agua pero el problema principal es que su distribución no es la adecuada, por eso, existen lugares donde el nivel de agua es muy limitado para la producción agrícola, industrial y para satisfacer las necesidades de un incremento constante de la población.

El aspecto natural más importante en la distribución del agua sobre la superficie de la tierra es el carácter dinámico de la biosfera. Gran parte de la producción de agua esta en un continuo proceso de cambio entre el estado sólido y líquido al vapor y viceversa. Lo cual se conoce como *Ciclo Hidrológico*. Este complejo sistema permite saber, con precisión, la cantidad de agua para una región, aunque en otras partes esto no es posible saberlo, como es el caso de las áreas desforestadas que afectan la continuidad de este ciclo.

En el ciclo global del agua, gases y sólidos se transfieren constantemente del océano a la atmósfera y viceversa, de la tierra a la atmósfera e inversamente, de la superficie de la tierra, hacia el agua subterránea a través del suelo, del suelo hacia los ríos y corrientes superficiales y de los ríos y corrientes a los océanos. El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte

recirculatorio y permanente, este movimiento continuo del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento).

Cada año, la energía solar evapora de la superficie cerca de 500 mil kilómetros cúbicos de agua, 86% de los océanos y 14 % de la tierra (Un kilómetro cúbico es igual a mil millones de metros cúbicos o a un billón de litros; en el sistema de medición inglés esto equivale a cerca de 264 mil millones de galones). La misma cantidad regresa a la tierra en forma de lluvia, granizo o nieve, aunque afortunadamente no en las mismas proporciones. Cerca de 110,300 kilómetros cúbicos caen sobre la tierra (excluyendo Groenlandia y la Antártida) mientras que sólo 71,500 se evaporan de ella. De esta manera, este ciclo de energía solar destila y transfiere anualmente 38,800 kilómetros cúbicos de agua de los océanos a los continentes; de ahí el agua regresa al mar como "escurrimiento" para completar el ciclo natural. Sin embargo, debido a que el agua no siempre está disponible en el lugar y en el momento en que se requiere, casi dos terceras partes de los escurrimientos anuales se convierten en inundaciones, lo que con frecuencia ocasiona más destrucción que beneficio; la otra tercera parte es estable y representa una fuente confiable de agua para uso potable o para riego de cultivos durante todo el año. (Postel, 1991)

La energía producida por la radiación solar, la cual maneja el ciclo del agua, se nos muestra en la tabla 1:

TABLA 1

ENERGÍA SOLAR IRRADIADA (KILOCALORÍAS/AÑO)	
Energía total del Sol a la Tierra	1.3×10^{21}
30% reflejada	3.9×10^{20}
47% absorbida por la atmósfera y la superficie terrestre	6.1×10^{20}
23% utilizada en la evaporación	3.0×10^{20}
0.2% utilizada en la generación de vientos, olas y corrientes	2.6×10^{18}
0.0023% usada en la fotosíntesis	3.0×10^{17}

Fuente: *Chemical Cycles and The Global Environment, Assessing Human Influences*, Robert M. Garrels, Fred T. Mackenzie, Cynthia Hunt, William Kaufman, INC., One Firts Street, Los Altos, California 94022, 1975

Como punto de comparación, cerca de 3×10^{20} Kcal/año de energía solar es usada para evaporar agua (principalmente de los océanos). El total de la energía producida en los Estados Unidos es de 1.5×10^{16} Kcal/año aproximadamente; la proporción es de 20,000 a uno. Nosotros no podemos competir con la energía implicada. (Garrels, Mackenzie y Hunt, 1975)

De la vasta cantidad de agua que existe en nuestro planeta - cerca de 1,400 millones de km^3 - 97.4 % se encuentran en los océanos, el restante 2.6 % - cerca de 36 millones de km^3 - es agua dulce y de esta cantidad el 27 % se encuentra en las capas polares (Kidd y Pimentel, 1992).

De este modo, el total de agua en la superficie terrestre se distribuye de acuerdo a la tabla 2.

TABLA 2

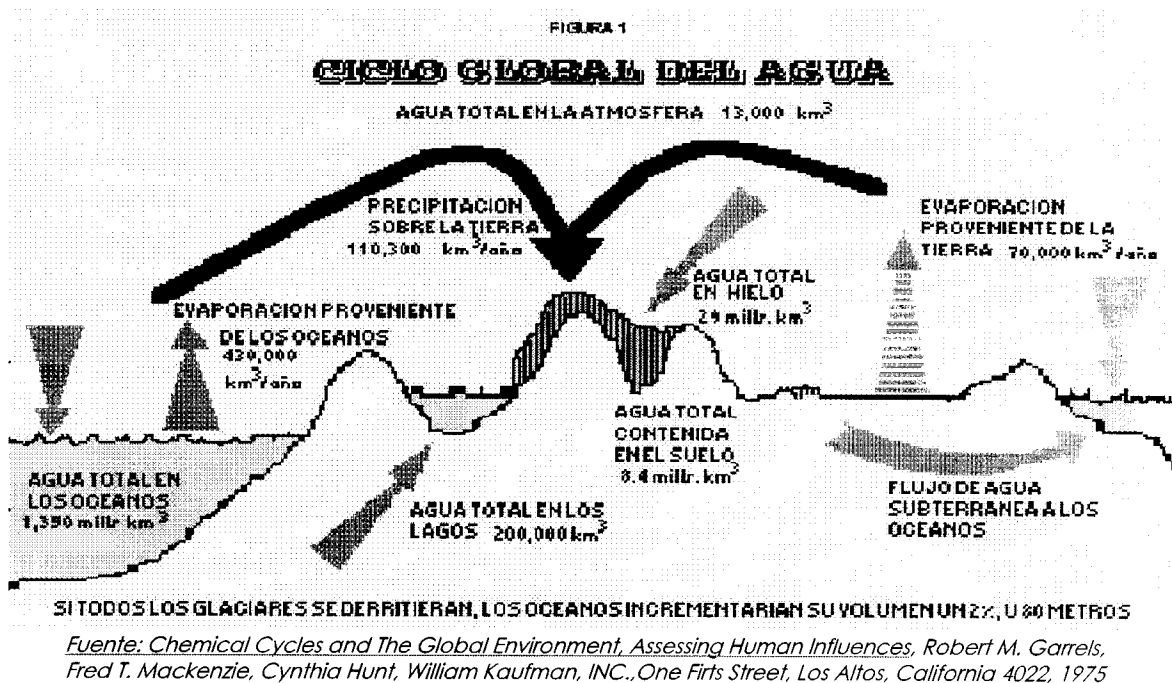
LA HIDRÓSFERA		
Océanos	1,360 mills. Km^3	97.4 %
Hielo	29 mills. Km^3	2 %
Mantos subterráneos	8.4 mills. Km^3	0.6 %
Lagos y Ríos	200,000 km^3	0.014 %
Atmósfera	13,000. Km^3	0.0009 %
biosfera	600 km^3	0.00004 %

Fuente: Raymond Siever, Harvard University, *PLANET EARTH: "The Control of the Water Cycle"*, by José P. Peixoto and M. Ali Kettani, April 1973, edit W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1974

En el ciclo, el agua es evaporada de los océanos (y algo más de la tierra). Una parte regresa a los océanos, pero otra parte a la tierra, y es la que abastece a los ríos, lagos, y mantos subterráneos.

La figura 1 muestra la relación evaporación - precipitación para la tierra y el mar. Casi un metro de ancho del agua de la superficie del océano se evapora cada año (la mayoría es reintegrada directamente al océano a través de la lluvia); casi 2/3 metros se evaporan de la tierra. Casi 1/3 de la precipitación recibida por la tierra corre hacia los océanos por las corrientes. Norteamérica, Europa y Asia promedian casi la misma cantidad de precipitación y porcentaje de escurrimientos; Sudamérica se

encuentra en la misma situación; Africa es más seca; Australia es mucho más seca.

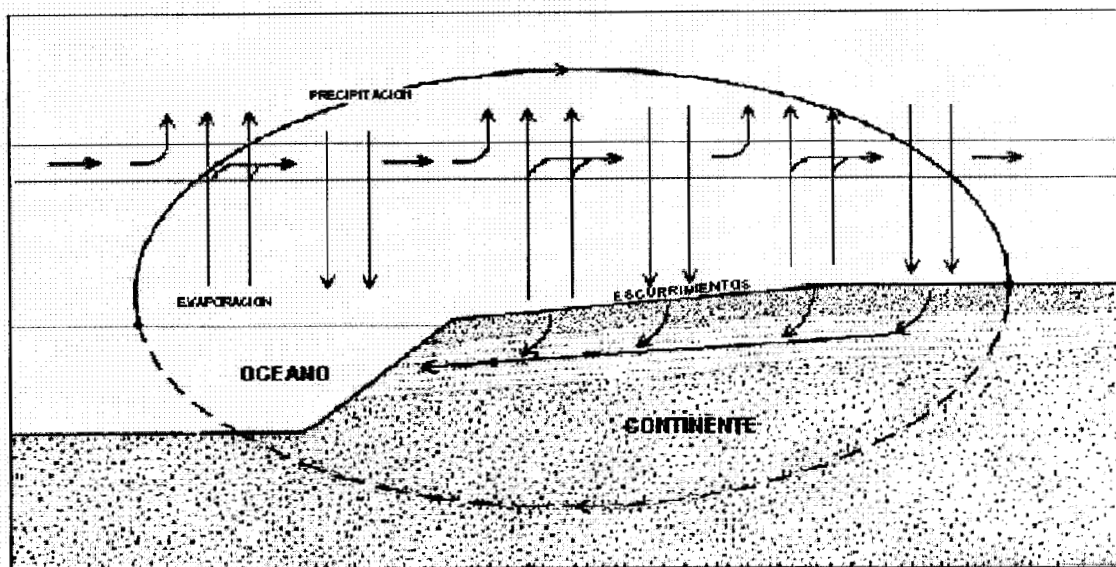


La figura 2 también nos muestra como está representado el ciclo del agua en nuestro planeta mediante un diagrama esquemático, puede apreciarse que se divide en dos partes: una parte atmosférica (arco continuo) y una parte terrestre (arco entrecortado). La tierra produce agua que envía a la atmósfera a través de la evaporación de los océanos. Esta agua es transportada por la circulación general de la atmósfera en su fase gaseosa (vapor de agua) y en su fase condensada (nubes). Eventualmente el agua regresa a la tierra en forma de precipitación, ya sea sólida o líquida. Si cae en tierra, puede infiltrarse en el subsuelo, escurrir hacia los ríos y océanos o evaporarse y regresar directamente a la atmósfera.

Las zonas terrestres pueden dividirse en lugares donde la precipitación excede a la evaporación, y otras donde la relación es inversa. En la primera rara vez tiene problemas de agua disponible; la siguiente casi siempre la tiene. En áreas de excesiva evaporación, el agua superficial es poca, entonces se suele dar abastecimiento con agua subterránea (recurso no renovable en menos de centurias); donde la irrigación es

ampliamente practicada. El efecto de la irrigación es un incremento de la evaporación del agua, y por lo tanto un incremento del contenido de sal en el agua. Un ejemplo de esta situación es el río Colorado (con casi el 1% de el flujo del río Misisipi): por ahora afecta a México ya que su contenido de sales es mayor que el límite permitido para el consumo humano, animal o agrícola (1000 ppm). (Garrels, Mackenzie y Hunt, 1975)

FIGURA 2



Fuente: Raymond Siever, Harvard University, *PLANET EARTH: "The Control of the Water Cycle"*, by José P. Peixoto and M. Ali Kettani, April 1973, edit W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1974

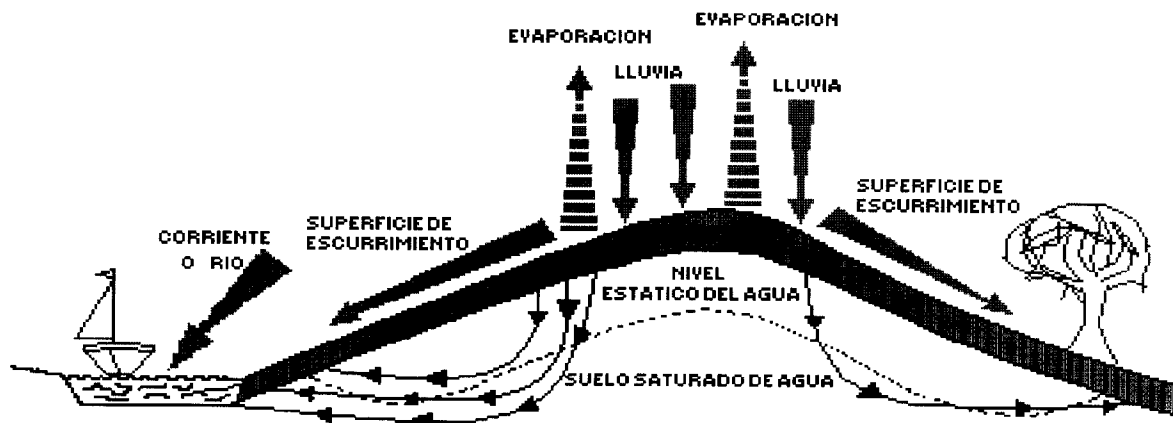
En los siguientes 20 años la mayoría de los problemas de abastecimiento de agua se presentarán en las zonas áridas y semiáridas. Varias de estas zonas se encuentran junto al mar, donde las desalinadoras podrían ser una opción (¡pero a que costo de energía!).

La figura N° 3 muestra una gráfica general de la relación, entre la lluvia, el suelo, agua subterránea y agua superficial. Casi 1/3 de la lluvia se trasmina a través del suelo y rocas. La parte superior del suelo y las rocas están húmedas, su porosidad permite que no se saturen con agua. Pero a determinada profundidad (cerca de 6 metros como promedio mundial) los poros se sellan con agua. La frontera de estas dos áreas es el nivel estático del agua. En la parte baja de una corriente hay pequeños materiales suspendidos y una máxima concentración

de sólidos disueltos derivados por la trasminación del agua a través de rocas y el suelo. La mayoría de este material disuelto proviene del suelo. Cuando llueve mucha superficie de escurrimiento y el suelo son lavados abajo de la superficie y dentro de la corriente. La concentración de sólidos disueltos en la corriente disminuye, pero el acarreo permanece casi constante. En los escalones de la pendiente los suelos son lavados más rápidamente que en otras partes, dejando rocas al descubierto. Los suelos contienen partes orgánicas de plantas y animales que, en áreas bien drenadas, es susceptible de oxidación. La composición de los sólidos disueltos en las corrientes, depende de la naturaleza de las rocas en el área drenada, y hasta aquí tiene tremendas variaciones locales.

FIGURA N° 3

RECORRIDO DEL AGUA EN EL SUELO



Fuente: Chemical Cycles and The Global Environment, Assessing Human Influences, Robert M. Garrels, Fred T. Mackenzie, Cynthia Hunt, William Kaufman, INC., One Firts Street, Los Altos, California 4022, 1975

No toda la precipitación llega al suelo, ya que una parte se evapora durante su caída y otra es retenida (intercepción) por la vegetación, o los edificios, carreteras, etc. y poco tiempo después, es retornada a la atmósfera en forma de vapor. Del agua que alcanza la superficie del suelo, una parte queda retenida en los huecos irregulares del suelo (almacenamiento en depresiones) y en su mayoría vuelve a la atmósfera por evaporación.

Otra parte del agua que llega al suelo circula sobre la superficie (lluvia en exceso) y se concentra en pequeños surcos que luego

integran arroyos, los cuales posteriormente desembocan en los ríos (escurrimiento superficial) los que conducen las aguas a los lagos, embalses o mares, desde donde se evapora o bien, se infiltra en el suelo.

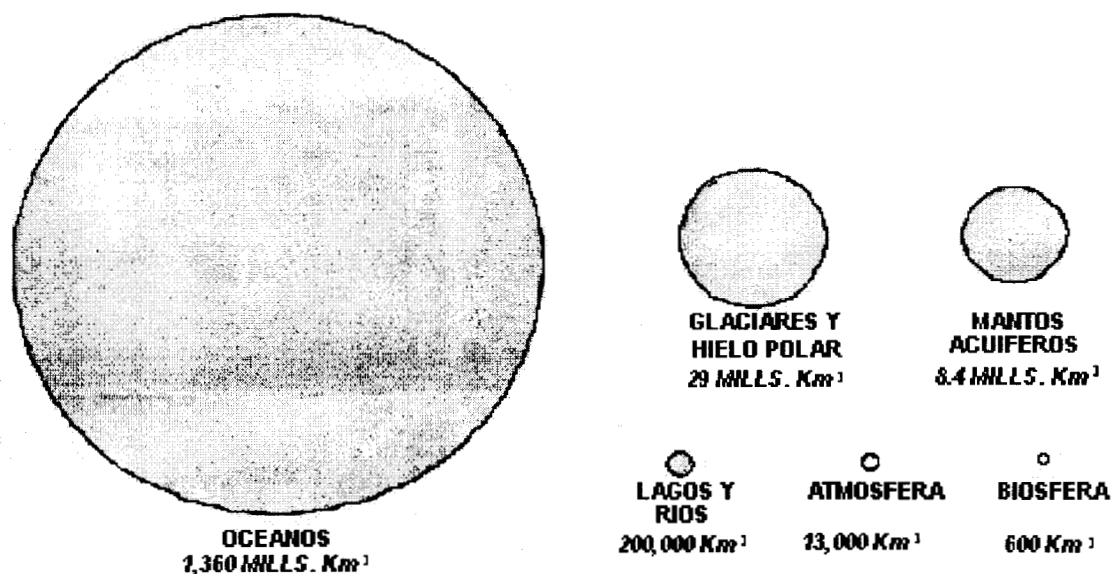
Por último, hay una tercera parte de la precipitación que penetra bajo la superficie del suelo (infiltración que va rellorando los poros y fisuras del suelo. Si el agua infiltrada es abundante, una parte desciende hasta recargar el agua subterránea, en cambio, cuando el volumen infiltrado es escaso el agua queda retenida en la zona no saturada (humedad del suelo), de donde vuelve a la atmósfera por evaporación o principalmente , por transpiración de las plantas; como en la práctica no es fácil separar ambos fenómenos, se suelen englobar en el término evapotranspiración.

Si la descripción anterior del ciclo hidrológico dio la impresión de ser un proceso continuo, por el cual el agua se mueve a velocidad constante, tal idea debe ser descartada, pues el movimiento, en cada fase del ciclo, es errático tanto temporal como espacialmente. Cabe hacer notar además, que las cualidades del agua también cambian durante su paso a través del ciclo hidrológico, siendo el gran mecanismo de desalinización de la naturaleza.

LA OFERTA Y LA DEMANDA DEL AGUA EN EL MUNDO

La distribución del agua en la tierra está representada gráficamente en la figura 4, en la cual la cantidad de agua se presenta en varias reservas naturales que son representadas en términos comparativos de volúmenes esféricos. El número que se encuentra debajo del nombre de cada reserva, denota el contenido de tal reserva en metros cúbicos. Aunque la atmósfera contiene cienmilésimas partes de toda el agua de la hidrósfera, la influencia que esta pequeña cantidad ejerce sobre el clima de la tierra y en la localización de los recursos hidrológicos esta fuera de proporción con respecto a su masa.

FIGURA 4 DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL MUNDO



Fuente: Raymond Siever, Harvard University, PLANET EARTH; "The Control of the Water Cycle", by José P. Peixoto and M. Ali Kettani, April 1973, edit W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1974

El volumen de agua dulce que se renueva cada año gracias al ciclo hidrológico podría satisfacer las necesidades de cinco a diez veces la población mundial existente. Sin embargo, la falta de agua para irrigar cultivos periódicamente amenaza con hambrunas a millones de personas, y los mantos freáticos en el sur de la India, el norte de China, el Valle de México y el suroeste de Estados Unidos descienden rápidamente, provocando la sequía de los pozos. Los ríos que alguna vez corrieron durante

todo el año ahora desaparecen al final de la temporada de lluvias y los lagos y mares continentales reducen su tamaño. Parece difícil que un acontecimiento histórico y económico desate una reestructuración mundial en el uso del agua, como sucedió con los aumentos en los precios del petróleo. No obstante, si las tendencias actuales continúan, el agua puede convertirse en muchas regiones en una limitante para la actividad económica y la producción alimentaria en las próximas décadas.

Como se ha dicho, la cantidad de agua dulce es de aproximadamente 36 millones de km³, sólo que el 77 % se encuentra en las capas polares y el agua dulce restante se distribuye de acuerdo a la tabla 3

TABLA 3

Distribución Mundial de Agua Dulce 1/		
Localización	Cantidad km ³	Porcentaje
Total del Agua Subterránea	7,208,000	88 %
Hasta 800 m de Profundidad	3,560,000	44 %
de 800 m hasta 4000 m de profundidad	3,648,000	44 %
Todas las demás fuentes 2/	994,000	12 %
Total	8,202,000	100 %

1/ datos de 1975

2/ Humedad del suelo, lagos, ríos, depósitos o tanques, minerales hidratados y en organismos vivos (plantas, animales, humanos, y la atmósfera)

Fuente: Charles V. Kidd, David Pimentel. *Integrated Resource Management, Agroforestry for Development*, Academic press, inc. 1992, Chapter 5.

Un hecho relevante es que el 88 % del agua dulce disponible en la tierra (excluyendo a los polos) se encuentra debajo de la tierra, mientras que el 12 % restante en los ríos, lagos y la atmósfera. Sin embargo, *podemos afirmar que no hay escasez del vital líquido sino que su distribución no es consistente con las necesidades humanas.*

El agua para consumo humano se extrae de dos fuentes principales: la superior como lluvias, ríos y lagos, y la subterránea que se extrae de mantos acuíferos; siendo el agua superior la principal fuente de obtención, aunque la fuente subterránea tiene mucho más reservas.

Muchos de los mantos acuíferos son muy antiguos, quizá por millones de años, y menos de 1 % se reconstituye cada año. Cuando la extracción de un manto acuífero excede ese 1 % de reconstitución, se dice que esta "minado". Sin embargo, la obtención del agua de los mantos acuíferos puede ser mucho más costoso que los beneficios, por lo que este tipo de explotación se sujeta a una serie de análisis técnicos y económicos. *A pesar de la adecuada oferta global del agua, la naturaleza y la mano del hombre, se han combinado para hacer que existan regiones con poca cantidad, en tiempo y en calidad.* (Kidd y Pimentel, 1992)

Además del ciclo hidrológico, una segunda fuerza que afecta la distribución de agua es la *actividad humana*. Algunas de estas acciones son adversas a la distribución. Por ejemplo, las inundaciones son un azote en varias regiones del planeta, en particular para aquellos países pobres que no tienen infraestructura para manejar sus recursos naturales, las cuales son causadas por la deforestación, la contaminación del agua y del medio ambiente, a través de las actividades económicas.

Sin embargo, algunas actividades humanas son trascendentales en la distribución del agua, como por ejemplo la construcción de presas para el almacenamiento del líquido y su distribución. La participación humana en diferentes formas, entre otras podemos mencionar a las corporaciones, las instituciones financieras, agencias gubernamentales y particulares, acuerdos, leyes e instituciones educativas, lo cual facilita el desarrollo del recurso para su distribución inteligente.

A nivel mundial, el agua todavía abunda, ya que para cada ser humano hay un recurso renovable de 8,300 m³ anuales, cantidad que representa varias veces lo necesario para llevar un nivel de vida moderado (generalmente se establece un consumo de 1,000 m³ por persona al año para un nivel de vida decente). (Postel, 1991)

El escurrimiento - medida principal de los suministros renovables de agua en una región determinada - es la función de la cantidad de agua proveniente de la precipitación que se pierde por la evaporación o por la transpiración de las plantas. La distribución de los abastecimientos por escurrimiento, por Continente, se muestra en la tabla 4.

TABLA 4

Distribución de los Abastecimientos de agua dulce renovables, por continente				
Región	Periodo de escurrimiento anual	escurrimiento mundial %	% de población global	escurrimiento permanente
Africa	4,225	11	11	45
Asia	9,865	26	58	30
Europa	2,129	5	10	43
Norteamérica ^{1/}	5,960	15	8	40
Sudamérica	10,380	27	63	8
Oceanía	1,965	5	12	5
ExUnión Soviética	4,350	11	6	30
Mundial	38,874	100	100	36 ^{2/}

^{1/} Incluye América Central con escurrimientos de 545 km³

^{2/} promedio

Fuentes: Adaptado de M.I. L'vovich, *World Water Resources and Their Future*, Traducción editada por Raymond L. Nace (Washington, D.C.: American Geophysical Unión, 1979); los datos de población son cálculos de mediados de 1983 del Population Reference Bureau, 1983 World Population Data Sheet (Washington, D.C.: 1983).

Postel Sandra, *Administración del agua en época de escasez*, Colección Universo del Agua, CNA-IMTA, 1991

Asia y Africa enfrentan la mayor escasez de agua. Actualmente, el suministro para cada asiático es menos de la mitad del promedio mundial y los escurrimientos de Asia son los menos estables de todos los continentes.

El continente Americano y la Ex-Unión Soviética parecen tener agua en abundancia para su población, aunque aquí también se encuentran grandes disparidades geográficas. Sudamérica cuenta con la mayor cantidad de agua, no obstante, 60 % de sus escurrimientos fluyen por el Amazonas, una fuente difícil de aprovechar, alejada de la mayor parte de la población. América del Norte y del Centro, en conjunto, tienen un abastecimiento per cápita equivalente al doble del promedio mundial, pero en grandes zonas del oeste, particularmente en el suroeste de Estados Unidos y en el norte de México, los

abastecimientos naturales de agua son limitados. En un análisis per cápita, Canadá es el país más rico en agua; sin embargo, mientras que el 80 % de su población vive en 200 km de la frontera con Estados Unidos, dos tercios del agua de sus ríos fluyen hacia el norte. *(Postel, 1991)*

En la Ex-Unión Soviética, los tres ríos mar grandes - Yenisei, Lena y Ob - corren por el norte, a través de Siberia, hacia los mares árticos, lejos de la mayoría de los grandes centros de población. Además, no cabe duda que la mayor catástrofe ecológica jamás vista a causa del uso excesivo del agua, ha sido la contracción del mar Aral. La suerte del mar Aral también señala el agravamiento de la escasez de agua en Asia Central, que amenaza con encender tensiones políticas y cobrarse un fuerte tributo económico y social.

De acuerdo con Philip Micklin *(citado por Sandra Postel en El Mundo, Medio Ambiente, 1990)*, de la Western Michigan University, experto en cuestiones hidráulicas de la Ex-Unión Soviética, la superficie del Mar Aral se ha reducido más del 40 por ciento desde 1960, su volumen se ha contraído dos tercios y los niveles de salinidad se han triplicado. Todas las especies originales de peces han desaparecido, lo que ha diezmado la pesca comercial. Los vientos levantan sal del fondo marino expuesto y depositan 43 millones de toneladas anuales en los campos de cultivo aledaños, dañando las cosechas.

A medida que se ha expandió la producción agrícola y se desvió agua de los ríos Syr Dar'ya y Amu Dar'ya, el Mar Aral se vio privado de sus dos fuentes principales de abastecimiento. Ya para 1980, el caudal de agua que esos dos ríos aportaban al mar quedó reducido a un chorrito. Salvar el Aral implica restarle agua a la agricultura, pero esto plantea el problema de cómo satisfacer las necesidades de alimentación y trabajo para la creciente población de la cuenca.

Demanda Global de Agua

Cuando se habla de la "demanda" de Agua, por lo general se refieren al uso del agua como una mercancía. Un factor de producción para la agricultura, la industria y las actividades domésticas. Sin embargo, el agua de los ríos, lagos, arroyos y estuarios también es el hogar de innumerables peces y plantas, actúa como un agente diluyente y purificador, y ofrece una fuente invaluable de placer estético y de riqueza para la calidad de vida en la tierra.

Ninguna sociedad puede hacer uso de toda el agua disponible y al mismo tiempo esperar conservar todos sus beneficios; por eso es necesario proteger las funciones naturales del agua y que la sociedad reconsidere sus hábitos al usar el líquido.

En el caso de Latinoamérica, por ejemplo, los problemas ambientales de los centros urbanos de la región están directamente ligados con la calidad de vida de la población, donde existen procesos degenerativos como la contaminación del aire y de las aguas y la congestión vehicular, que afectan a todos los ciudadanos por igual.

Una característica notable ha sido, y en alguna manera lo sigue siendo, el crecimiento espontáneo de los asentamientos marginales de las ciudades grandes y medianas de la región, como resultado de las migraciones del campo a la ciudad e interurbanas.

En la mayoría de las ciudades de la región el agua potable no llega al 100 % de sus pobladores. La creciente demanda de agua potable ha convertido su suministro en un serio problema. Vemos así que Lima, en la costa del Pacífico, tiene que recurrir a fuentes hídricas que están insertas en la cuenca del río Amazonas.

En algunos de los grandes centros urbanos el abastecimiento de agua se realiza mediante la explotación de acuíferos locales. Buenos Aires y la Ciudad de México obtienen el agua para el consumo de la población de los acuíferos superficiales. En la región metropolitana de Buenos Aires alrededor del 55 % de la población extrae agua de estas capas y se estima que los mantos más superficiales están totalmente contaminadas, tanto orgánica como químicamente. En la Ciudad de México dos tercios del agua potable provienen de la explotación de los acuíferos por medio de pozos. El problema fundamental que se presenta en la actualidad (1995) es que existe un déficit de 40 % de la recarga. El ritmo de extracción de agua para usos urbanos es de 40 m³ por segundo y la recarga se estima en 23 m³ por segundo. El costo de dotar agua a la Ciudad de México crece en forma inusitada , ya que es preciso recurrir a las aguas de cuencas alejadas, como las del sistema Cutzamala.

El abastecimiento de agua potable sigue siendo un desafío financiero y tecnológico para los países de la región. En Brasil, de 25.2 millones de viviendas, menos de 14 millones recibían agua por cañería en 1980. Según datos de 1988, en Bolivia menos del 50 % de 1.3 millones de viviendas recibían agua, y en Honduras, de 762,000 viviendas sólo se abastecía a 480,000. El caso más dramático es el de Haití: según datos de 1971, de un total de 864,000 viviendas, recibían agua un poco menos del 3 %. *(Gligo, 1995)*

Por otro lado, la región latinoamericana se caracteriza, también, por presentar condiciones ambientales y climáticas muy variadas. Ello sucede no sólo entre los distintos países (por ejemplo, en general, México es más árido que Brasil) sino también al interior de los mismos, ya que casi todos poseen regiones áridas y húmedas (compárense, por ejemplo, México Septentrional y meridional, las regiones occidental y oriental de Argentina, etc.). esa variedad, cuando se combina con la distribución geográfica de las distintas actividades económicas, se traduce en una amplia gama de condiciones de oferta y demanda de recursos hídricos y, por lo tanto, de problemas en materia de leyes, políticas y gestión de estos recursos.

A pesar de tal variedad, existen diversos factores económicos, sociales y políticos que son comunes al tema de los recursos hídricos en la mayor parte de América Latina. Estos factores, según fueron señalados en un análisis de las Naciones Unidas en 1980, son los siguientes: crecimiento de la población y de la producción económica; urbanización creciente (es decir, concentración geográfica del desarrollo); recursos hídricos abundantes situados habitualmente a gran distancia de los centros poblados; adopción rápida de la tecnología moderna, y centralización del poder político y económico y de las facultades decisorias. Estas características se combinan para generar dos tipos de problemas en relación con los recursos hídricos: a) problemas de cantidad, regulación de flujo y controversias respecto de la utilización del agua y de la tierra, y b) problemas urbanos de mala calidad del agua asociados especialmente con la pobreza (Naciones Unidas/CEPAL/PNUMA, 1980). *(Bauer, 1993)*

El desarrollo hídrico, esencial para la producción de alimentos, la Expansión industrial y el crecimiento urbano, mejoró los niveles de vida prácticamente en todas partes. Pero poco a poco se evidenciaron límites. Ríos agotados, niveles de mantos freáticos en descenso y lagos consumidos son testigos del abuso extensivo ejercido por los seres humanos sobre las fuentes de agua del mundo.

Demanda creciente de agua

De acuerdo con cálculos realizados por científicos de la Ex-Unión Soviética a principios de los setenta para la Década Internacional de la Hidrología de las Naciones Unidas (1965-74) - que están entre los datos históricos más comprensibles - el uso del agua a nivel mundial era de 400 mil millones de metros cúbicos en 1900, lo que equivalía a 242 metros cúbicos por persona. Para 1940, mientras que la población había crecido 40 %, el uso del agua en el mundo se había duplicado. A mediados de siglo, se inició un rápido crecimiento de la demanda, de manera que para 1970, la extracción anual per cápita aumentó

más de 700 metros cúbicos, 60 % más con relación a 1950. En esos veinte años, el uso agrícola e industrial del agua se duplicó como sucedió durante la primera mitad del siglo (*Postel, 1991*).

Durante el siglo XX, la demanda de agua se ha incrementado rápidamente por 2 razones; el crecimiento demográfico y la demanda per cápita por el crecimiento económico y la urbanización. Lo cual ha provocado que su consumo se haya duplicado entre 1940 y 1980 y se espera que se vuelva a duplicar para el año 2000, de las cuales 2/3 partes irán a las actividades agrícolas. Todavía 20 países con 40 % de la población mundial tienen escasez de agua, lo cual provoca una situación conflictiva que requiere de medios eficaces para administrar el agua. (*Kidd y Pimentel, 1992*).

Allí donde aparece la escasez, se genera una competencia encarnizada entre países vecinos, entre regiones de una misma nación y, cada vez más, entre las ciudades y el campo. Un ejemplo característico es el que sucede en Medio Oriente, donde los problemas sobre la escasez del agua son de enorme importancia. Una mirada al paisaje geopolítico revela rápidamente el motivo. Son tres las cuencas de los ríos que forman la espina dorsal de las obras del desarrollo hídrico: la del Jordán, la del Tigris-Eufrates y la del Nilo. Las reservas están reducidas casi al límite en dos de las tres cuencas, y ciertas relaciones políticas controvertidas han frustrado los esfuerzos por lograr acuerdos para compartir el agua.

Las tensiones religiosas y étnicas complican en gran medida los problemas del agua en la región, pero incluso aunque no existieran esas tensiones, el espectro de la escasez sería real y cada día mayor. Los países del Medio Oriente tienen las tasas de crecimiento de la población más elevadas del mundo, y debido a la sequedad del clima, la producción de alimentos depende fundamentalmente de la irrigación (en el caso de Egipto, la porción de tierras irrigadas es del 100 %. En el caso de Israel, es del 65.6 %). Israel, Jordania y Siria obtienen la mayor parte del agua que consumen, de la cuenca del Río Jordán. Israel ya

aplica para ello el 95 % de los recursos renovables disponibles, principalmente debido a la expansión de la superficie irrigada que aumento seis veces desde 1948 (*Postel, 1991*). El Banco Mundial pronostica que si los patrones actuales de consumo no se modifican, las demandas de agua de Israel, Jordania y la Ribera Occidental excederán todas las fuentes renovables en seis años. Tanto Israel como Jordania tendrían que enfrentarse a una decisión políticamente difícil: desviar el agua para uso agrícola y destinarla a satisfacer de las crecientes necesidades industriales y domésticas. (*Postel, capítulo 4, 1990*)

Los mantos acuíferos que se encuentran debajo de la ciudad se han reducido de uno a dos metros por año; casi una tercera parte de sus pozos se ha secado.

Las tensiones en la cuenca del Tigris-Eufrates también van en aumento. Las montañas de la zona este de Turquía dan nacimiento a los dos ríos; el Eufrates corre a través de Siria e Iraq antes de llegar al Golfo Pérsico y el tigris corre directamente por Iraq. A pesar del saludable excedente de agua en la cuenca de 11,000 km² de extensión, Siria e Iraq se ven como perdedores en el colosal proyecto Anatolia, del gobierno de Turquía, que apunta a incrementar la irrigación y la potencia hidroeléctrica del país.

En Egipto, donde casi nunca llueve, los 55 millones de habitantes del país dependen prácticamente por completo de las aguas del Nilo, que no se origina dentro de los límites de la nación. Virtualmente todos sus cultivos requieren de irrigación y, con un incremento poblacional de un millón de seres cada ocho meses, las necesidades de agua potable y de alimentos se están elevando con rapidez. Probablemente, en una década, la demanda excederá los suministros seguros. Alrededor del 80 % del agua que afluye al Lago Nasser, detrás de la represa de Asuán, deriva del Nilo Azul, que se forma en Etiopía. El 20 % restante proviene del sistema del Nilo Blanco, cuya naciente está en el lago Victoria, en Tanzania. Son nueve los países que se

abastecen de los afluentes de la cuenca, con Egipto como último en la fila. *(Postel, cap. 4, 1990)*

La escasez de agua en algunas regiones del mundo constituye otra creciente amenaza para la agricultura. Esto se destaca en ciertas áreas donde la irrigación es determinante para el cultivo y llega a representar el 75 por ciento o más del consumo. Muchas de estas regiones también experimentan un rápido crecimiento poblacional y urbano, lo que prepara el terreno para la fuerte competencia entre las ciudades y los agricultores e impone restricciones al desarrollo de la agricultura.

Malin Falkenmark, hidrólogo sueco, sostiene que las sociedades que no disponen de suministros de agua por arriba de los dos mil metros cúbicos anuales per cápita, padecen lo que denomina "estrés por agua".

Enfoque Agrícola y de Irrigación

El problema del crecimiento global de la demanda de agua para la irrigación, se puede observar en la obra de W.r. Rangeley, "Irrigación-Current, Trends and a Future Perspective", Seminario del Banco Mundial, Washington, D. C., 15 de febrero de 1983; demanda de riego basada en cálculos de la FAO para la Conferencia Mundial de la Alimentación 1974, donde la demanda bruta de agua para riego de cultivos cosechados es en promedio de 11,400 metros cúbicos por hectárea. Para el cálculo se considera que el arroz requiere el doble de agua que el trigo y que otros cereales secos. Con esta cantidad y un crecimiento promedio de cuatro millones de hectáreas de riego al año, se estiman 820 mil millones de metros cúbicos adicionales de agua anualmente para riego en el año 2000. *(Postel, 1991)*

El agua es el factor limitante en la producción agrícola. Las cosechas requieren grandes cantidades de agua, por ejemplo: una cosecha de maíz que produce 6,500 kg de grano por hectárea, puede requerir cerca de 4.2 millones de litros de agua en su periodo de crecimiento. La producción de cosechas por

irrigación usa grandes cantidades de agua, por ejemplo: 1 kg de maíz requiere 400 litros, 1 kg de azúcar 1,900 litros, 1 kg de arroz 4,700 litros y 1 kg de algodón 17,000 litros. (Kidd y Pimentel, 1992)

además de absorber gran parte de los recursos disponibles de una región, la irrigación representa un gran volumen de agua que se "consume", que se elimina del agua disponible localmente por evaporación y transpiración. Los cultivos necesitan consumir algo de agua para crecer, pero generalmente es mucho más el agua que se transporta y destina al campo que la que requieren los cultivos. Con frecuencia, menos de la mitad del agua que se extrae para riego retorna a un río o cuerpo de agua cercano, donde pudiera usarse de nuevo. El uso del agua en la agricultura es la principal razón de que sólo el 40 % del agua utilizada en la producción de irrigación regrese al medio ambiente por medio del ciclo hidrológico.

Podría pensarse que la irrigación juega un papel muy pequeño en la producción mundial de alimentos (sólo el 18 % de la producción es irrigada), sin embargo una gran cantidad de países en desarrollo dependen grandemente de la producción irrigada. Ver tabla 5

TABLA 5

Dependencia de la Irrigación en el desarrollo de los países (1986)	
País	Producción total de alimentos proveniente de tierras irrigadas (%)
India	55
Pakistán	50
China	70
Indonesia	50
Chile	55
Perú	55

Fuente: Charles V. Kidd, David Pimentel. *Integrated Resource Management, Agroforestry for Development*, Academic press, inc. 1992, Chapter 5.

Si la población mundial alcanzara los 7.8 billones en el 2020, el incremento en la oferta de alimentos en los países

subdesarrollados requerirá el desarrollo de extensas áreas de irrigación. La creciente inquietud por los daños ambientales podría elevar también la competencia por el agua del campo, como podría ser el fenómeno natural del efecto de invernadero.

A semejanza de un filtro de un solo sentido, los gases del efecto de invernadero permiten a la energía solar pasar a través de la atmósfera, pero atrapan la radiación de onda larga que se emite hacia el espacio. Como resultado de su acumulación derivada de las actividades humanas, la parte inferior de la atmósfera se calienta, lo que a su vez provoca que el ciclo hidrológico del planeta -el intercambio de agua entre el mar, el aire y la tierra- se acelere. Se espera que tanto la evaporación como las precipitaciones, que equilibran la distribución de agua del planeta, se incrementen entre siete y quince por ciento debido a la duplicación de los gases que atrapan el calor, en relación con los niveles que prevalecían en la era preindustrial. Sin embargo, los promedios globales dicen poco sobre cuáles serán las regiones que experimentarán este fenómeno. La temperatura se elevará casi en todas partes, aunque más en las regiones templadas y en los polos que en los trópicos; las lluvias se incrementarán en algunas áreas y disminuirán en otras.

Quizá resulte conservador suponer que la escasez de agua provocada por el cambio climático obligará a suspender la irrigación en el cinco por ciento de las tierras de cultivo en el mundo. Esto restaría 13 millones de hectáreas de la base global. A la tasa actual de expansión, tomaría cinco años resarcir esas pérdidas. Más aún, la construcción de presas, canales y demás infraestructura para recuperar esas pérdidas requeriría de inversiones adicionales del orden de 26 a 52 miles de millones de dólares.

Además, algunas tierras que hoy son de temporal necesitarán irrigación para reemplazar la humedad del suelo perdida por el incremento de la evapotranspiración en la atmósfera, debido a las mayores temperaturas. Si es necesario irrigar el cinco por ciento de las tierras de temporal del mundo para mantenerlas

redituablemente productivas, incluso después de que los agricultores hayan cambiado de cultivos y realizado otros ajustes, serán necesarios otros 60 millones de hectáreas de tierra irrigada. Esto elevaría las inversiones para adaptar estas tierras a los nuevos regímenes climáticos entre 120 y 240 mil millones de dólares, y el total de 150 a 300 mil millones. Estos ajustes se presentan en la tabla 6.

Estas tendencias señalan la necesidad de un enfoque más amplio para irrigar los cultivos orientado a elevar la eficiencia, integrar la irrigación a los objetivos básicos del desarrollo y mejorar la productividad del agua en la agricultura de temporal.

TABLA 6
Ajustes a la irrigación debido al cambio climático del planeta.

Ajuste	Superficie afectada	Costo estimado de inversión ^{1/}
	(millones de hectáreas)	(miles de millones de dólares)
Desplazamiento de 5% de la tierra irrigada en el mundo por cambios en la disponibilidad de agua.	13	26-52
Expansión de la irrigación al 5% de la tierra de riego existente para compensar el incremento de la evapotranspiración.	60	120-240
Total	73	146-292

^{1/} Supone un rango de dos a cuatro mil dólares por hectárea; los costos en algunas zonas podrían ser sustancialmente superiores.

Los costos no fueron descontados. Fuente: Worldwatch Institute.

Fuente: Sandra Postel. El Mundo, Medio Ambiente 1990. Capítulo 3, "El ahorro de agua para la agricultura"

Gran parte del mal manejo y uso excesivo del agua para labores agrícolas se origina en el error, casi universal, de no darle un precio adecuado a este recurso. Con frecuencia, la construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de irrigación está a cargo de entidades públicas que

prácticamente no cobran por estos servicios. En Pakistán, por ejemplo, los pagos de los agricultores cubren sólo el 13% de los costos del gobierno. De hecho, en la mayor parte de los países del Tercer Mundo, los ingresos del gobierno por concepto de irrigación no son, en promedio, superiores al diez o veinte por ciento del costo total de su distribución. Esta subvaloración priva a las entidades de los fondos necesarios para mantener los canales y demás infraestructura en condiciones de buen funcionamiento.

Cuando los precios reflejen la escasez del agua, y cuando los costos para obtenerla suban, o bien, cuando los gobiernos regulen su uso, los agricultores comenzarán a utilizar este recurso con mayor prudencia.

Para esto, se deberá utilizar *mejor tecnología y sistemas de riego más eficientes*. Por ejemplo, los grandes aspersores se pueden hacer más eficientes al adaptarles tubos verticales de goteo a los brazos; se puede utilizar el rayo láser para la nivelación de los terrenos; mecanismos para el reciclamiento del agua utilizada en el riego; instalación de sistemas económicos de goteo; revisión constante del grado de humedad de la tierra para irrigarla sólo cuando sea necesario; involucrar a los agricultores en la construcción, operación y manejo de sistemas flexibles que les permitan determinar los esquemas de distribución del líquido más adecuados; *dar mayor atención a la irrigación a pequeña escala y a las técnicas para utilizar mejor el agua de lluvia y restablecer las cuencas deforestadas, ya que ayudará a detener los escurrimientos, aumentar la filtración del agua de lluvia en el suelo, y, por lo tanto, a incrementar las corrientes subterráneas utilizables en la estación de sequía.*

A medida que el agua dulce se vuelva más escasa, y las ciudades compitan con los agricultores por mayor abasto, probablemente se generalizará el uso del agua residual tratada para fines agrícolas. Esta práctica devolvería importantes nutrientes a la tierra y contribuiría a mantenerla fuera de los ríos y corrientes, donde se convierten en problemáticos

contaminantes. Esta práctica puede ser muy conveniente con el tratamiento adecuado y la cuidadosa selección del agua y del lugar donde será tratada y aplicada.

Una manera relativamente económica de que los gobiernos se aseguren contra futuras restricciones de agua, especialmente ante la eventualidad del cambio climático, es incrementar los recursos para financiar centros internacionales de investigación agrícola que desarrollen *nuevas variedades de cultivos. Plantas más resistentes a la sal, a la sequía y más eficientes en el uso del agua*, podrían tener un papel importante para asegurar suministros adecuados de alimentos. Las investigaciones sugieren que el trigo es un buen candidato para desarrollar mayor tolerancia a la sal. Esto permitiría producir este importante cereal en tierras donde otras cosechas no prosperarían.

La salicornia, una planta crasa que puede regarse con agua de mar, probablemente se convierta en un sustituto de los forrajes que necesitan mucha agua en las regiones donde ésta escasea. Su rendimiento de semillas oleaginosas es bastante similar al de la soya y puede contribuir hasta en diez por ciento a una mezcla de forraje para el ganado bovino, lanar y otros. Sin embargo, el desarrollo de nuevas variedades redituables y productivas lleva tiempo. Un mayor apoyo a estos esfuerzos tendría importantes retribuciones en las décadas por venir. (*Postel, capítulo 3, 1990*)

El uso del sector industrial.

El segundo sector de la sociedad que más agua utiliza es la industria. Esta representa cerca de la cuarta parte del agua que se utiliza en el mundo. La producción de energía en plantas nucleares y de combustibles fósiles es por mucho la industria que más agua utiliza. El agua es la fuente de del vapor que opera los turbogeneradores, y se necesitan grandes cantidades para enfriar los condensadores de las plantas de energía. Sin embargo, a diferencia de la agricultura, sólo una pequeña fracción de esta agua se consume.

Sin contar la producción de energía, dos tercios de la extracción industrial restante se utilizan en sólo cinco ramas: metales, productos químicos, refinación de petróleo, fabricación de pulpa de papel y procesamiento de alimentos. En los países con una planta industrial establecida y con leyes de contaminación de agua en vigor, no es que aumente la extracción de agua para estas industrias; la mayoría de las técnicas para controlar la contaminación contemplan el reciclaje y reuso del agua, reduciendo así la demanda industrial de nuevos abastecimientos.

En la mayoría de los países del tercer mundo, la industria generalmente representa menos del 10 % de la extracción total de agua, comparado con 60 a 80 % en la mayoría de las naciones industrializadas. Muchos de los países en desarrollo inician apenas el camino de la industrialización que emprendieron otras naciones hace cuatro décadas. Sin embargo, en América Latina, se espera un incremento para los últimos 25 años del siglo de 350 % en el uso industrial del agua, comparado con cerca de 180 % para agua potable y 70 % para riego. (*Postel, 1991*)

EL AGUA EN MÉXICO, LA SITUACIÓN DE SUS RECURSOS ACUÁTICOS

Panorama General

El agua se aprovecha en diversos usos que se diferencian por ser consuntivos y no consuntivos. Los primeros impactan en la disponibilidad porque aprovechan el agua y sólo retornan una parte de ésta: los no consuntivos, como el uso en generación hidroeléctrica, retornan la totalidad del agua aprovechada. El agua es un recurso de volumen relativamente constante dentro del ciclo evaporación-condensación-evaporación. Durante muchos años se le consideró como un recurso finito, pero en la actualidad se sabe que su disponibilidad es limitada. En nuestro país, el ciclo del agua ha sufrido cambios, como consecuencia del avance de la industrialización y la urbanización y de la mala distribución de la población, lo que ha aumentado notablemente la demanda de este recurso y disminuido su calidad. (Sánchez, Castillejos, Rojas, 1989)

La variación de la lluvia a lo largo del año y su distribución espacial, aunada a la desigual distribución de la demanda - en México, la disponibilidad de agua se concentra principalmente en el sureste del país donde la densidad de población y la demanda de agua son bajas. En contraste con en el centro, norte y noroeste donde el agua es escasa y la densidad de la población es mayor y las demandas son altas - , generan problemas de escasez que se agravan por la baja eficiencia con que se usa el recurso. Asimismo, la infraestructura hidráulica no se aprovecha plenamente debido a que se encuentra inconclusa, se opera con deficiencia, o falta mantenimiento.

De acuerdo con el Programa Hidráulico 1995-2000, elaborado por el Poder Ejecutivo Federal, con la colaboración de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); *para el mediano y largo plazos, la política hidráulica de México estará enfocada en garantizar la*

disponibilidad de agua para satisfacer las necesidades de la población e impulsar el desarrollo de las actividades económicas, de manera compatible con las capacidades ambientales de cada región, analizando los factores económicos y sociales, así como los aspectos técnicos y ambientales, a fin de poder obtener un desarrollo sustentable y viable del recurso.

Sin embargo, lo anterior no es tarea fácil, ya que la configuración geográfica y climática del país nos ofrece grandes diferencias entre las dos regiones principales del país, la neártica y la neotropical, donde existen ecosistemas con escasez de agua que limitan su extracción y otros en donde se requiere regular las condiciones de abundancia extrema. Por otro lado, el conocimiento de los recursos hidráulicos del país aún es insuficiente debido, por una parte, a la extensión del territorio, y por la otra a la propia naturaleza del agua, que obliga a medirla en las diversas fases del ciclo hidrológico, en cantidad y calidad. Además, la demanda del recurso se genera por cientos de miles de usuarios, con problemas específicos y puntuales. (P. H. 1995-200)

Oferta

La oferta de agua en cualquier país se basa, en la distribución de los abastecimientos de agua dulce renovable, a través del ciclo hidrológico, los escurrimientos, los tipos de clima, la calidad y usos de los suelos, usos del agua, etc.; por medio de estos parámetros se puede realizar el balance integral hídrico por cuencas o regiones, tomando como elemento principal a el medio natural de cada región.

El medio natural, formado por una serie de componentes naturales que se encuentran en interacción permanente, es un factor principal en el proceso hidrológico. Dichos elementos naturales se dividen en dos grandes categorías: los componentes diferenciadores (son aquellos que determinan grandes contrastes en el terreno, y en cierta manera marcan las

características de otros componentes, los diferenciadores más importantes son el clima, el relieve y el sustrato geológico) y *los componentes indicadores* (señalan las características de los diferenciadores y comprenden dos componentes de transición: el agua y el suelo, y la biota, fundamentalmente la vegetación y la flora,. estos componentes indicadores constituyen los principales recursos naturales del planeta).

Podemos catalogar y evaluar a los *componentes indicadores* (*agua, suelo, vegetación y fauna*) desde tres puntos de vista:

- Como componentes *integrantes de un ecosistema* y su interacción individual con los demás elementos de su ecosistema;
- Como *recursos naturales*, potencialmente utilizables por el hombre para su sustento y beneficio, tomando en cuenta que los recursos naturales son cambiantes a lo largo del tiempo, y por otra parte la cantidad disponible puede variar o decrementar, y en condiciones críticas, extinguirse.;
- Como *elementos de impacto ambiental* que son producto de alteración por la acción humana, y que repercute directa o indirectamente sobre los recursos.

Dentro de los ecosistemas naturales, el agua es producto de la interrelación entre algunos elementos del clima (precipitación, evaporación), las características del sustrato geológico, y las condiciones locales de la geomorfología, lo cual influye en el comportamiento del escurrimiento y la infiltración. El comportamiento de estos dos procesos va a influir en la distribución y en las condiciones de disponibilidad, dinámica y calidad de los cuerpos de agua, de tipo superficial y subterráneo. (*D'Luna, 1997*)

El deterioro de los sistemas naturales ha sido de tal magnitud, que la renovabilidad de algunos recursos, está seriamente

amenazada. Por lo tanto, *la utilización de los recursos naturales debe hacerse de tal manera que se asegure al mismo tiempo un desarrollo sustentable a largo plazo, para lo cual la renovabilidad de los recursos es un requisito indispensable.* (Sánchez, Castillejos, Rojas, 1989)

México dispone de 5,125 m³/hab por año y de acuerdo con Postel (1992) no se clasifica como un país con escasez (2,000 m³/hab por año). Sin embargo, México como muchos otros países, sufre de escasez severa en varias cuencas hidrológicas debido a dos factores:

- a) El deterioro de la calidad, el cual limita el empleo del agua; y
- b) El desfase espacial y temporal entre la oferta y la demanda. (Jiménez, 1997)

Los escurrimientos de los ríos, al igual que la lluvia, se distribuyen irregularmente en el territorio nacional, lo que determina escasez o abundancia con problemas de sequía o inundaciones. El panorama es más complejo por la distribución en de los centros de población, polos de desarrollo industrial y áreas de infraestructura para el riego. Por ejemplo, la cuarta parte de la población está asentada por encima de los 2,000 msnm, en donde se dispone de 4 % del escurrimiento superficial.

A nivel nacional, los recursos hidráulicos disponibles representan un volumen anual de los 5,125 m³, ya antes mencionados, por cada mexicano. Esta cifra parece excesiva si se compara con la disponibilidad per cápita de otros países (Egipto con 30, Arabia Saudita con 140, Libia con 160, Jordania con 190 o Israel con 330), pero representa casi la mitad de los Estados Unidos y un veintavo de Canadá.

Las cifras regionales demuestran un déficit considerable en casi la mitad del territorio y bajo esta perspectiva, se estima que para fines de este siglo, más de la mitad del país tendrá un volumen per cápita limitado, similar al de las naciones que sufren estrés por falta de líquido. (INE; 1994)

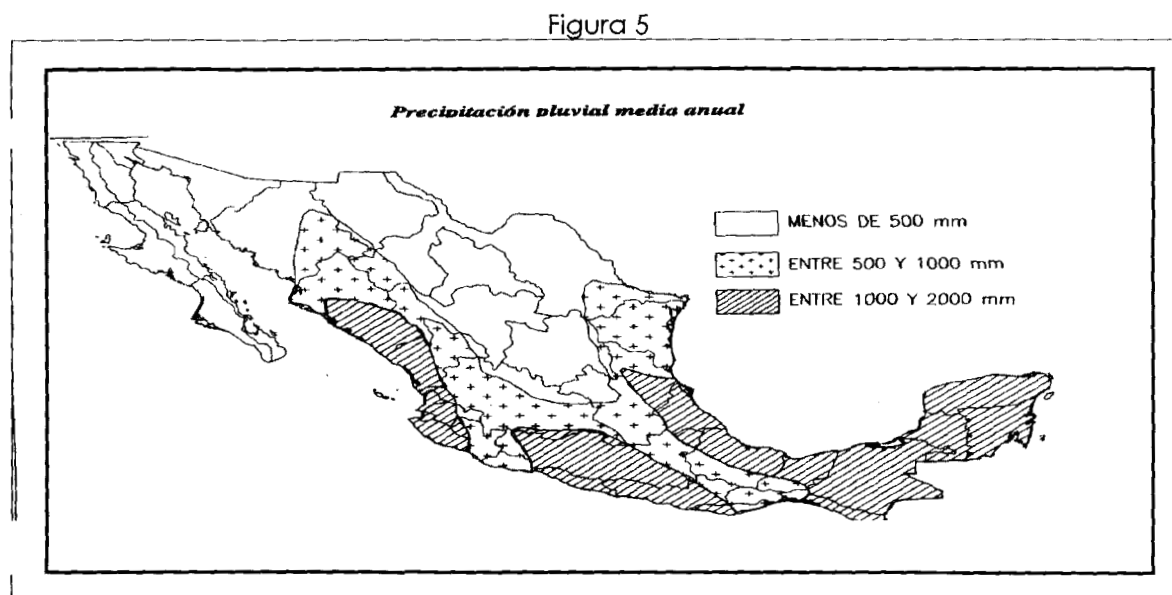
EL SISTEMA HIDROLÓGICO NACIONAL .

Precipitación Pluvial

La precipitación pluvial anual promedio en el territorio nacional, con una extensión cercana a los dos millones de km², es de 777 mm lo que equivale a un volumen de 1522 km³. La precipitación es escasa en el norte del país y abundante en el sureste y en las vertientes del Golfo de México y del Pacífico, esta lluvia se concentra, principalmente, en los meses de junio a septiembre. Además de las variaciones mensuales, existen variaciones anuales con periodos extraordinarios de sequía que duran de uno a tres años. De igual forma, se presentan fenómenos meteorológicos extremos como los ciclones tropicales, las granizadas y nevadas extraordinarias.

Con cierta frecuencia se presentan periodos de sequías en el norte del país. En los últimos 50 años se han registrado tres periodos críticos: de 1948 a 1954, el segundo, de 1960 a 1964 y el más reciente, iniciado en 1993, afecta aún a los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango, Nuevo León y Tamaulipas. (PH 1995-2000)

La figura 5 nos muestra la distribución de la precipitación pluvial media anual en el territorio nacional



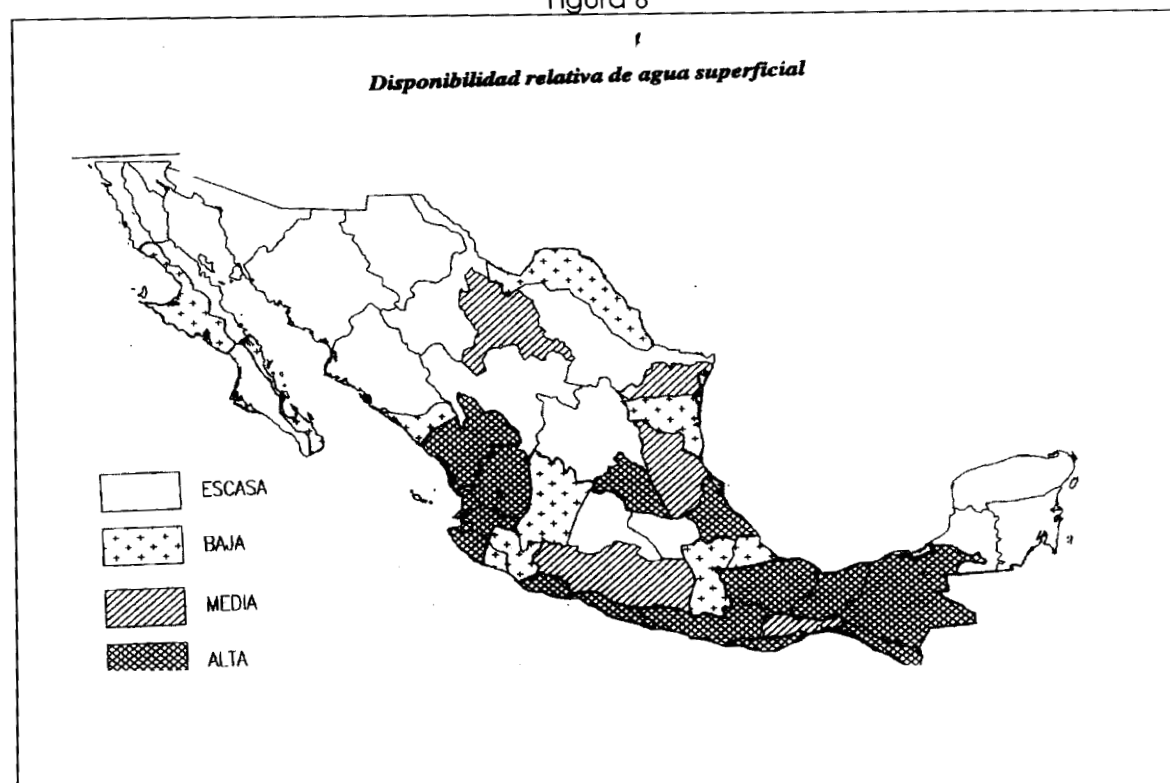
Fuente: Programa Hidráulico 1995-2000, SEMARNAP, CNA

Aguas superficiales

El escurrimiento superficial virgen promedio anual es de 410 km³ y la infraestructura hidráulica actual (1995) proporciona una capacidad de almacenamiento del orden de 120 km³, lo que se traduce en una capacidad de regulación del orden de 82 km³. De esta capacidad de regulación, 26 km³ son exclusivamente para generación de energía eléctrica, 49 km³ se utilizan para la satisfacción de demandas consuntivas, y el resto se evapora.

El 50 % del volumen escurrido se genera en tan sólo el 20% de la superficie del país localizada en el sureste, mientras que el 4% del escurrimiento se genera en la parte norte del país en una superficie del orden del 30% del territorio nacional. La disponibilidad relativa de agua superficial se presenta en la figura 6

Figura 6



Fuente: Programa Hidráulico 1995-2000, SEMARNAP, CNA

En la mayor parte del país, las principales lluvias ocurren durante el verano, entre los meses de junio a septiembre. La excepción es la Región Noroeste, donde se presentan dos ciclos lluviosos en el año, uno en verano y otro en invierno. En contraste, en la vertiente del Golfo y en el resto de la vertiente del Pacífico existen zonas donde el escurrimiento es alto y el drenaje natural es insuficiente, por lo que se presentan inundaciones con frecuencia.

En el inicio del PROGRAMA HIDRÁULICO 1995-2000 el territorio nacional se dividió en seis regiones hidrológicas, actualmente consta de trece regiones, y se realizó un *balance de agua superficial por regiones*, a fin de saber con que disponibilidad hidráulica se contaba. Este balance se muestra en la tabla 7

Tabla 7 Balance de agua superficial, km³/año

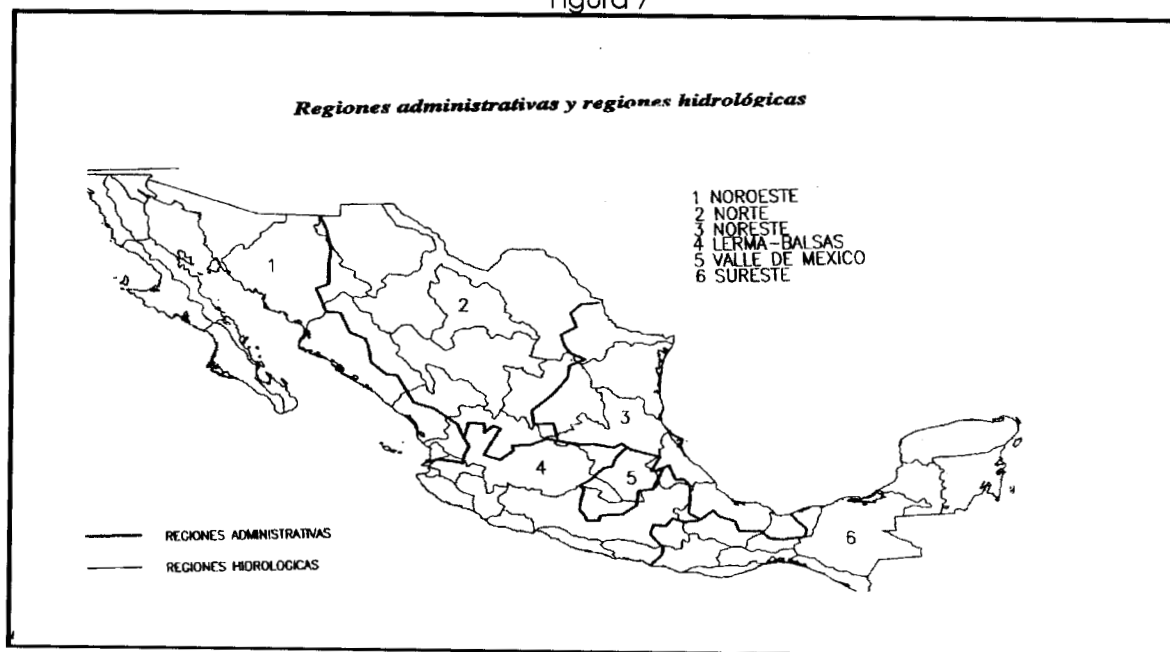
Gerencia Regional	Disponibilidad Hidráulica			Extracción para usos Consunt.	Exportación (*)	Evaporación de los Vasos	Balance
	Escirrimiento Virgen	Retorno Utilizable	Importación (*)				
Noroeste	27.2	0.08	1.85	17.3	0.00	1.25	10.6
Norte	9.8	0.71	0.07	7.7	0.43	1.31	1.1
Noreste	42.3	1.47	0.00	5.3	0.07	0.82	37.6
Lerma-Balsas	76.0	0.00	0.00	12.0	0.37	30.8	60.6
Valle de México	1.8	0.37	0.36	2.5	0.00	0.10	0.0
Sureste	253.6	0.35	0.01	4.4	0.0	0.00	248.7
Nacional	410.7	2.98	1.93	49.2	0.43	6.56	357.6

* Se importan de E.U. 1.85 km³/año a la región Noroeste y 0.07 a la región Norte y se exportan a E. U. 0.43 de la región Norte, comprometidos mediante acuerdos de carácter internacional, así como 47.0 importados de Guatemala en la región Sureste, sobre los cuales no existe convenio. Las demás importaciones y exportaciones son transferencias entre cuencas nacionales. Fuente : Comisión Nacional del Agua, Programa Hidráulico 1995-2000

La figura 7 nos muestra la primera regionalización administrativa utilizada por la Comisión Nacional del Agua, en base a dichas regiones se realizó el balance hidráulico de la tabla 7

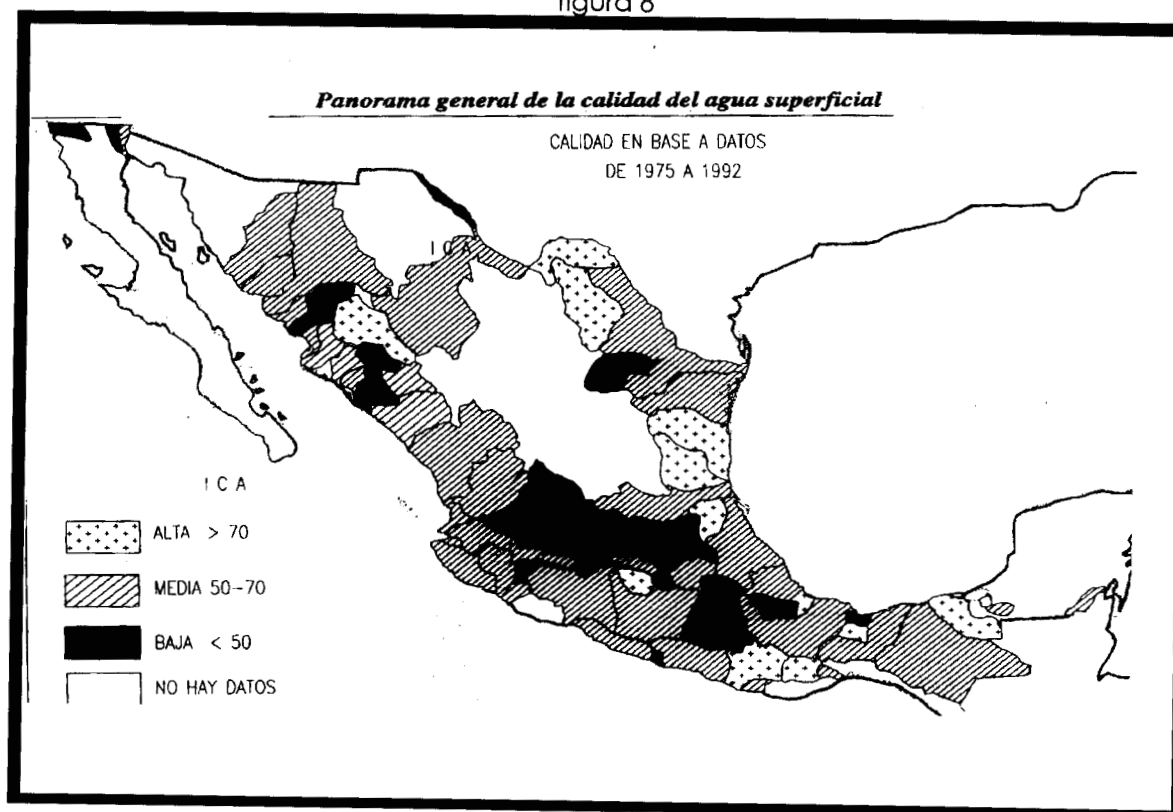
Por lo que respecta a la calidad del agua, con la información de la red nacional de monitoreo se evaluaron las condiciones que prevalecen en las principales cuencas del país, mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA) que toma en cuenta 16 parámetros. Se concluyó que prácticamente todos los cuerpos de agua importantes tienen grandes zonas contaminadas. Ver figura 8

Figura 7



Fuente : Comisión Nacional del Agua, Programa Hidráulico 1995-2000

figura 8



Fuente : Comisión Nacional del Agua, Programa Hidráulico 1995-2000

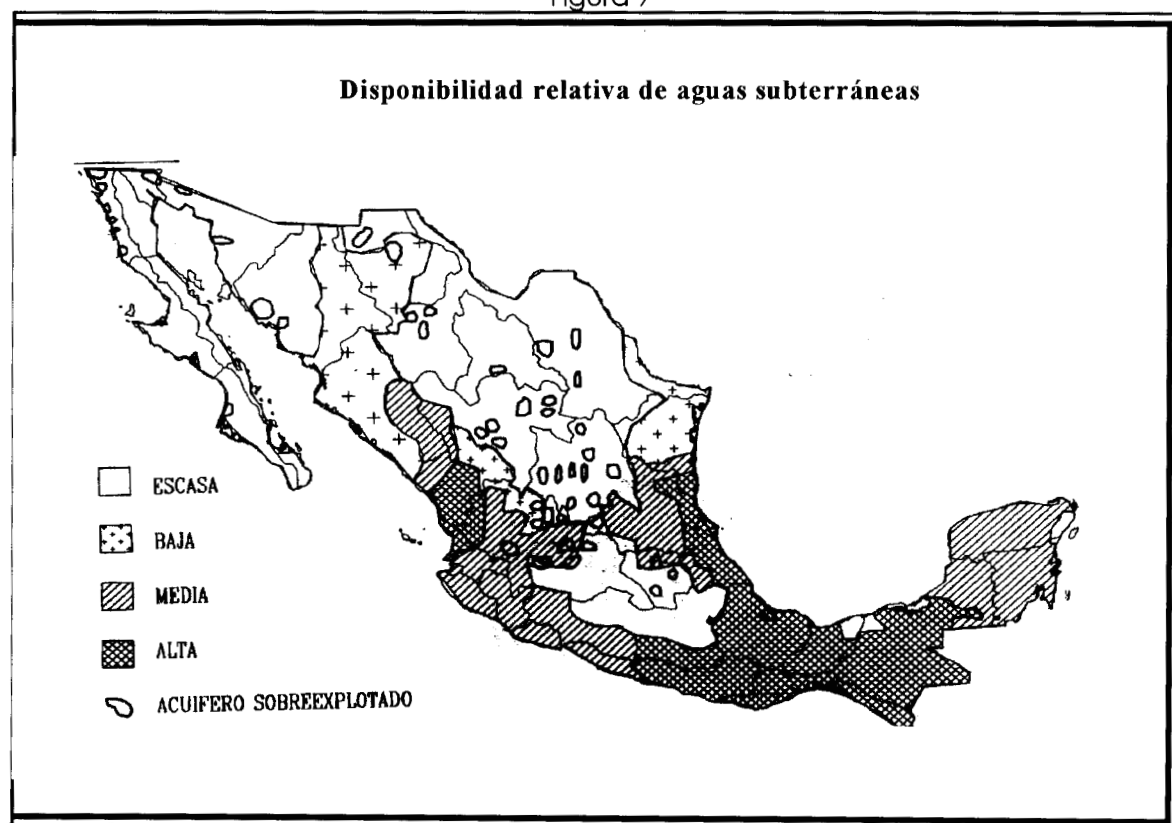
Aguas Subterráneas

La recarga natural promedio de los acuíferos es de 48 km³ anuales, que sumada a la recarga inducida en zonas de riego, que se estima del orden de 15 km³, resulta en una recarga total igual a 63 km³.

Se han identificado en el país 459 acuíferos, para los que se estima una extracción total de 24 km³ anuales a través de aproximadamente 140 mil aprovechamientos subterráneos. Se han *detectado problemas de sobreexplotación en 80 acuíferos* ubicados principalmente en las regiones noroeste, norte y Lerma-Balsas. Asimismo, han aumentado los problemas por concentración de sales.

La distribución de agua subterránea y de los acuíferos sobreexplotados se muestra a nivel nacional en la figura 9

Figura 9



Fuente : Comisión Nacional del Agua, Programa Hidráulico 1995-2000

Aguas salobres, estuarinas y costeras

Se estima que estos sistemas ocupan una superficie de 16 mil km², con un volumen estimado de 48 km³. La mayor parte de esta superficie, 12,500 km² pertenece a 137 lagunas costeras, 92 de las cuales se localizan en el Pacífico y 45 en el Golfo de México y el Caribe.

Medición

Para el registro de la información correspondiente a las componentes del ciclo hidrológico se cuenta con redes de medición meteorológica, hidrométrica, de agua subterránea y de calidad del agua; sin embargo, se han tenido problemas para mantener actualizada la información, debido a adecuaciones en la organización para el procesamiento de datos y a la escasez de recursos económicos.

En la actualidad, la CNA, a través del Servicio Meteorológico Nacional, cuenta con 77 observatorios, cinco radares analógicos, 5000 estaciones climatológicas convencionales, 65 estaciones meteorológicas, una red base de 600 estaciones climatológicas automáticas, 18 estaciones automáticas de radiosondeo, un receptor de imágenes del satélite GOES y 12 radares meteorológicos digitales.

Según las normas de la Organización Meteorológica Mundial, la densidad de la red hidrométrica es escasa en el 60% del territorio nacional, situación que ha prevalecido durante los últimos 20 años.

En 1974 se inició la operación de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, que actualmente cuenta con 793 estaciones. La red se apoya en 27 laboratorios estatales y en sus laboratorios regionales; 16 de estas estaciones forman parte del Programa Mundial de Monitoreo de la Calidad del Agua.

Infraestructura de regularización y control

En las corrientes nacionales existen cerca de 4,000 obras de almacenamiento y/o control. De ellas, 640 están clasificadas como grandes presas. Los problemas que enfrentan se pueden resumir en tres grupos.

- a) Se estima que del universo de obras, 700 presas tienen más de 30 años de haber entrado en servicio, 400 tienen entre 20 y 30 años, y el resto es de reciente construcción; además, la mayoría de ellas carece de mantenimiento y conservación.
- b) Los primeros estudios hidrológicos realizados en nuestro país para determinar las capacidades de almacenamiento requeridas para el control de avenidas y el diseño de las obras de excedencias fueron realizados con escasa información, por lo que se han dado casos de que algunas avenidas de diseño han sido alcanzadas, e incluso superadas.
- c) La reducción en la capacidad útil de almacenamiento de las presas y de conducción de los cauces, ocasionado por los azolves, así como la falta de mantenimiento en equipos y estructuras, y la escasa capacidad de descarga de algunas presas, incrementan los riesgos de falla de las estructuras hidráulicas. (P. H. 1995-2000)

Usos del agua

A nivel nacional, se extraen anualmente 185 km³ de aguas superficiales y subterráneas para los diversos usos, lo cual representa 43 % del volumen total anual de agua renovable. De este volumen, 61 % se utiliza en la generación de energía hidroeléctrica, 30 % en riego, 5% en la industria y el restante 4% para uso urbano, que incluye el suministro de agua potable. Ver tabla 8

Tabla 8
Extracción, consumo y descarga anual a nivel nacional

Uso	Volumen (km ³)		
	Extracción	Consumo	Descarga
Agrícola	55.5	46.6	8.95.6
Industrial	9.3	3.7	5.6
Urbano	7.4	3.5	3.9
Hidroeléctrico	128.8	0	0
Total	185.0	53.0	19.2

Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1993

México, *Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1993-1994*, Instituto Nacional de Ecología.

El consumo, esto es, la cantidad de agua que no retorna a las corrientes una vez utilizada, es de 53 km³ anuales, 88 % de este volumen corresponde al sector agrícola, 7% al sector industrial y 5% a las poblaciones. La generación de energía hidroeléctrica prácticamente no consume agua, pero aprovecha su energía potencial y modifica el régimen de los ríos. (INE, 1994)

Uso doméstico

En este uso se incluye el agua distribuida a través de las redes municipales a hogares, comercios, industrias y a los servicios propios del municipio.

Con base en la información de la CNA y CONAPO se estima que a nivel nacional, en 1995, de una población total de 91.6 millones de habitantes, 15.1 millones carecen de servicio de agua potable y 30.2 millones de alcantarillado. Ver tabla 9

La responsabilidad del servicio de agua potable y saneamiento recae directamente en los municipios; el control de la contaminación lo ejerce el Gobierno Federal. Existe el *Programa denominado Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (APAZU)*; instrumentado a partir de 1990, para impulsar un nuevo marco jurídico institucional y la creación de un financiamiento de mezcla de recursos federales, estatales, generación interna de caja, créditos internos y externos, y de la iniciativa privada.

Tabla 9
Cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado por tamaño de localidad en 1995

Tamaño de localidad	Número de localidades	Población (Mill. Hab.)	Cobertura agua potable (%)	Cobertura Alcantarillado (%)	Población con agua potable (Mill. Hab.)	Población con alcantarillado (Mill. Hab.)
Urbano						
80,000 o más	103	42.1	97.8	92.1	41.2	38.8
50,000-79,999	43	2.9	96.3	92.6	2.8	2.7
5,000-49,999	1,135	15.1	95.1	79.2	14.4	12.0
2,500-4,999	1,509	5.3	84.3	47.1	4.4	2.4
Subtotal	2,790	65.4	96.0	85.5	62.8	55.9
Rural						
1,000-2,499	4,661	8.3	67.6	31.0	5.6	2.6
1-999	149,152	17.9	45.4	16.2	8.1	2.9
Subtotal	153,813	26.2	52.5	20.9	13.7	5.5
Total	156,603	91.6	83.5	67.0	76.5	61.4

Fuente: Consejo Nacional de Población 1995; Comisión Nacional del Agua 1995
Programa Hidráulico 1995-2000, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales Y Pesca, Comisión Nacional del Agua, junio de 1996

Se estima que la extracción total de agua para este uso es de 8.5 km³/año (270 m³/s).

Las tarifas por los servicios generalmente son bajas e insuficientes para que los servicios sean de buena calidad e incluyan el tratamiento de las aguas residuales. De 135 localidades estudiadas con más de 50 mil habitantes, existen 10 cuya tarifa es adecuada, 33 en las que se requieren aumentos del 5% al 49% y 92 en las que se requieren aumentos mayores al 50%.

En virtud de la necesidad de extender los servicios y a las dificultades que presenta el continuar con el esquema actual de atención directa de los municipios, se han realizado modificaciones al marco legal que los rige para ampliar la posibilidad de participación del sector privado. Se pretende que este último contribuya con los recursos financieros necesarios a través de la concesión parcial o total de estos servicios. Los resultados de las primeras concesiones al sector privado han permitido identificar aspectos que contribuirán a mejorar la eficacia de futuras concesiones.

Se estima que al año 2000, la demanda total de agua potable será de 9.4 km³/año (299 m³/s) y se generarán 7.7 km³/año (244 m³/s) de aguas residuales. Las perspectivas de servicios de

agua potable y alcantarillado a nivel nacional se muestra en la tabla 10.

Tabla 10

Tamaño de localidad	Población (año 2000) (Mill.Hab.)	Cobertura agua potable (%)	Cobertura Alcant. (Mill.Hab.)	Población Servida c/agua pot. (Mill.Hab.)	Población Benef. Con Agua pot. (Mill. Hab.)	Población Servida con alcant. (Mill. Hab.)	Población benef. Con alcant. 1995-2000
Urbano							
80,000 o más	103	97.8	92.1	44.6	3.4	42.0	3.2
50,000-79,999	43	96.3	92.6	3.0	0.2	2.9	0.2
5,000-49,999	1,135	95.1	79.2	15.6	1.2	13.0	1.0
2,500-4,999	1,509	84.3	47.1	4.8	0.4	2.7	0.2
Subtotal	2,790	96.0	85.5	68.0	5.2	60.6	4.6
Rural							
1,000-2,499	4,661	67.6	31.0	7.2	1.6	5.4	2.9
1-999	149,152	45.4	16.2	11.6	3.5	9.7	6.8
Subtotal	153,813	52.5	20.9	18.8	5.1	15.5	9.7
Total	156,603	83.5	67.0	86.8	10.3	75.7	14.3

Fuente: Consejo Nacional de Población 1995

Comisión Nacional del Agua 1995

Programa Hidráulico 1995-2000, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales Y Pesca, Comisión Nacional del Agua, junio de 1996

Uso agrícola

La agricultura en México, se practica en una superficie de *aproximadamente 20 millones de hectáreas*, de las cuales 6.2 son de riego y el resto de temporal y temporal tecnificado.

En 1994 se extrajeron 61.2 km³ de agua para este uso. De éstos, 41.1 provinieron de fuentes superficiales y 20.1 de aguas subterráneas. Se estima que realmente sólo se utilizan 40 km³/año en riego y el resto se pierde en las conducciones y en evaporación, del volumen señalado retornan 12 km³/año. Este volumen contiene residuos de pesticidas y fertilizantes que favorecen la proliferación de malezas acuáticas.

En el 92% de la superficie bajo riego se utiliza el método de gravedad, y en muchos casos se utilizan métodos de inundación sin control, que propician baja eficiencia de uso y desperdicio del agua.

Si se considera la tendencia de los últimos años, se estima que *para el año 2000 se incorporarán al riego 104 mil hectáreas que incrementarán la demanda de agua en 2.0 km³/año.* (P.H. 1995-2000)

Las actividades agrícolas demandan el mayor volumen de agua a nivel nacional, aun cuando en los últimos años han tendido a disminuir como consecuencia de los cambios que ha sufrido el país, que ha dejado de ser rural para convertirse en urbano-industrial. El sector primario, además de demandar el mayor volumen de agua, es el mayor consumidor del recurso. En 1980, mientras la industria y la población consumieron menos del 10% del volumen nacional extraído, la agricultura consumió 90%. Los 21 millones de hectáreas abiertas al cultivo en México explican sólo parcialmente esa situación. El resto se explica por la ineficiente infraestructura de los sistemas de riego y drenaje, por fallas en los sistemas electromecánicos de las estructuras de control y medición del agua y de los equipos de bombeo. Se calcula que en el ciclo 1983-1984, estos factores produjeron pérdidas de un 40% del volumen total de agua destinada a estas actividades.

Por otra parte, el subsidio al precio del agua fomenta el desperdicio y limita las posibilidades de conservar, dar mantenimiento y mejorar las redes y canales hidroagrícolas. *(Sánchez, Castillejos, Rojas, 1989)*

Entre las consecuencias menos costeables del uso irracional del agua se encuentra la degradación de valiosas tierras de cultivo ocasionada por prácticas inadecuadas de riego. Por lo general el agua llega a los cultivos en canales sin revestir lo que permite la infiltración de grandes cantidades de agua a los acuíferos. En lugares donde el drenaje es inadecuado el nivel del agua sube en forma gradual, llegando eventualmente a la raíz de los cultivos y saturando el suelo.

En climas secos la saturación puede estar acompañada de ensalitramiento ya que al evaporarse el agua de la superficie deja un residuo perjudicial de sal. De acuerdo con algunos cálculos, la saturación y el ensalitramiento están esterilizando de 1 a 1.5 millones de hectáreas de tierra fértil, en el mundo, cada año. Este problema es particularmente grave en el Valle de México, donde la saturación y/o ensalitramiento amenazan con

disminuir las ganancias que los nuevos y costosos proyectos de riego pretenden obtener con la producción de alimentos. *(postel, 1991)*

Uso industrial

La industria ocupa volúmenes crecientes de agua y se ha seguido emplazando en sitios donde el recurso es escaso, con objeto de aprovechar economías de escala, abundancia de mano de obra y otras ventajas comparativas. Sin embargo, la situación crítica actual está mostrando que relocalizar industrias puede resultar un proceso muy caro, más caro que lo que se ha logrado ahorrar utilizando las que aparecían como ventajas comparativas. Adicionalmente, la insuficiencia de sistemas descontaminantes de la industria -o mejor dicho, de selección de tecnologías menos contaminantes- significa en la práctica, la inutilización por contaminación de importantes volúmenes de agua, lo que hace más escaso aún el vital recurso. Relocalizar ahora industrias para que no contaminen las zonas críticas, o adicionarles complejos sistemas anticontaminantes y plantas de tratamiento de agua, significa también costos mayores ahora que los que habrían sido necesarios en su establecimiento inicial. *(Sánchez, Castillejos, Rojas, 1989)*

Este uso se refiere al agua empleada por las industrias que se abastecen directamente de los cuerpos de agua y descargan a cuerpos receptores. No incluye termoeléctricas ni industrias que se abastecen de las redes de agua potable y vierten sus desechos en las redes de alcantarillado municipales.

Al evaluar la información de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, se observó que en *las condiciones actuales es difícil el aprovechamiento del agua superficial por la industria, ya que el 58% se clasifica como contaminada, el 21% como fuertemente contaminada.* *(P.H. 1995-2000)*

La necesidad de satisfacer la demanda de energía eléctrica en el país permitió el desarrollo de la industria hidroeléctrica y, por ende, de una tecnología que ha permitido aprovechar un mayor porcentaje del agua natural disponible. Esta industria demanda fuertes volúmenes de agua. En 1980, ésta fue de más de 99,800 mm³ y se prevé que para fines de siglo aumentará cuatro veces (S.A.R.H., 1981). A pesar de la exorbitante cifra, las plantas hidroeléctricas no representan un insumo real de la disponibilidad del recurso, ya que el consumo de agua es mínimo y la calidad no se modifica, por lo que algunos autores ni siquiera la consideran en los balances hidráulicos. (Sánchez, Castillejos, Rojas, 1989)

En 1994 las centrales termoeléctricas generaron el 80% de la energía producida en el país y las hidroeléctricas el 20%. Las termoeléctricas y las hidroeléctricas utilizaron 113.2 km³ de agua.

En las termoeléctricas se consume agua debido a la evaporación que se genera en el enfriamiento. En algunas centrales se utilizan sistemas cerrados para recircular el agua y disminuir el consumo del recurso. En estos sistemas se generan concentraciones de sales, lo que representa un riesgo de contaminación cuando se efectúan las purgas de los equipos. El incremento de la temperatura del agua utilizada en estas centrales es otro problema que afecta los ecosistemas acuáticos. Los principales problemas en el caso de las hidroeléctricas, son los derivados de la incompatibilidad en el tiempo de generación (en horas pico) con los requerimientos de otros usos como el riego.

La región Grijalva-Usumacinta nos servirá de ejemplo para ilustrar los *problemas ambientales relacionados con el uso del agua para la generación de energía eléctrica*. En ella, la precipitación pluvial es abundante y los ríos conducen grandes volúmenes de líquido durante todo el año. En la época de lluvias, se producen crecientes máximas que causan grandes inundaciones en las planicies. Todos estos factores alentaron al

estado para construir un sistema de grandes presas que, por un lado, permitiría aprovechar las aguas para la generación de energía eléctrica para los sistemas de riego e incluso para fines recreativos y, por el otro, controlaría las inundaciones y desecaría los pantanos, que representaban un problema en áreas con aparentes potencialidades agropecuarias. En suma, se pretendía favorecer el desarrollo integral de la región.

En la cuenca del Río Grijalva, que representa el 40% del potencial hidroeléctrico del país, se construyeron tres presas: la de Netzahualcóyotl o Malpaso, la de La Angostura y la de Chicoasén, que en conjunto tienen una capacidad total de 42,840 Mm³ y una potencia instalada de 4,400 MW. Aunadas a otras que están en proyecto, éstas constituirán el complejo hidroeléctrico más grande de México. Si bien es cierto que en la mayoría de los casos estas obras lograron controlar las inundaciones y aprovechar el potencial hídrico regional, también tuvieron efectos negativos sobre los suelos y provocaron grandes desajustes en el ciclo del agua. Las tierras se rejuvenecían y fertilizaban gracias a los aluviones que anualmente bañaban las planicies. Una vez que pasaban sus efectos destructivos, proporcionaban excelentes cosechas para los campesinos. En los últimos años, ha sido necesario utilizar fertilizantes que durante mucho tiempo fueron totalmente desconocidos en la región. Al mismo tiempo, en algunas zonas, los suelos se salinizaron por filtración de aguas marinas y por ascensión de sales del subsuelo, lo cual contribuyó al abatimiento de la fertilidad. Por último, algunas zonas que se inundaban sólo temporalmente, en la actualidad están permanentemente inundadas, lo que también impide su utilización (Proyecto Integrado del Golfo, 1986). *(Sánchez, Castillejos, Rojas, 1989)*

Se estima que para el año 2000 la demanda de agua será de 142 km³/año para hidroelectricidad, y de 2.89 km³/año para el enfriamiento en termoeléctricas. *(P.H. 1995-2000)*

Uso en acuacultura y pesca

La acuacultura se practica en tres modalidades: intensiva, de repoblamiento y rural.

La acuacultura intensiva en agua salada/salobre se practica en poco más de 16 mil hectáreas, de las cuales el 98% están dedicadas al camarón y el resto a otras especies. Se estima que la acuacultura intensiva en agua dulce se realiza en 2,000 hectáreas, y utiliza un caudal de 1.3 km³/año (41.2 m³/s); en el resto de la superficie de agua dulce se practica la acuacultura semiintensiva.

Con base en proyecciones de la SEMARNAP, se prevé para el año 2000 que la producción total acuícola crecerá con una tasa anual de 2.7%, lo que demandará la necesidad de contar con mayores superficies de cuerpos de agua salobre y salada y mayores extracciones de agua para la acuacultura intensiva, del orden de 1.5 km³/año (47.6 m³/s). (P.H. 1995-2000)

Uso para recreación y turismo

Este uso se refiere a las actividades de contacto directo con el agua como son el *baño recreativo, la natación, el buceo; asimismo la pesca, la navegación y demás actividades recreativas y deportivas; además de las actividades de esparcimiento como el descanso y la contemplación del paisaje. No comprende suministro de agua a hoteles ni a actividades comerciales, los cuales están considerados en los usos consuntivos.*

FONATUR ha desarrollado el concepto de megaproyectos turísticos que incluye aspectos relacionados con el cuidado del ambiente, especialmente con el tratamiento de las aguas residuales y la disposición de sus desechos; sin embargo, es necesario ampliar el enfoque para que también considere la protección a los cuerpos de agua receptores, con objeto de evitar que el deterioro de su calidad restrinja la actividad turística. (P.H. 1995-2000)

Uso para la navegación

El uso del agua con fines de navegación en nuestro país ha sido limitado; sin embargo, es importante considerarlo debido a que puede afectar la calidad del agua y por ende a otros usos como la recreación, el turismo y la pesca. Es prioritario conciliar dos aspectos: por una parte impulsar el uso de la navegación, por su contribución al transporte, al comercio y a la recreación, y por otra parte, cuidar que esta actividad no limite a los demás usos.

La navegación afecta la calidad del agua de los ríos y estuarios por las descargas de residuos líquidos y sólidos, originados por fugas y por accidentes en la navegación y embarcaderos. Aun en la operación normal, las pequeñas embarcaciones y motocicletas acuáticas que usan motores de dos tiempos, arrojan grasas y aceites al agua. (P.H. 1995-2000)

Uso por el medio natural

Al considerar al medio natural como usuario del agua se reconoce el papel que desempeñan los cuerpos de agua y humedales como sostén de los ecosistemas. Se debe tener en cuenta que los ríos y lagos contribuyen a la humedad del ambiente debido al equilibrio que se establece entre las fases líquida de la superficie del agua y gaseosa del aire.

A la fecha no se han definido criterios para cuantificar las demandas de agua por el medio natural. Se requiere determinar la relación que existe entre la disponibilidad del agua y la naturaleza, para decidir los caudales y volúmenes que deban existir en los cuerpos de agua, y así utilizar este recurso natural, sin afectar la sustentabilidad de los ecosistemas.

El desarrollo sustentable debe considerar aspectos como la conservación de la calidad y productividad del suelo, áreas forestales, selvas y de zonas atractivas para la recreación y el turismo. (P.H. 1995-2000)

EL AGUA EN LAS ÁREAS METROPOLITANAS

Las tres áreas metropolitanas más importantes del país -Ciudad de México (AMCM), Ciudad de Guadalajara (AMCG) y Ciudad de Monterrey (AMCMo)- tienen problemas muy similares, aun cuando de diferente magnitud, en lo referente al recurso agua. Estas tres ciudades, en donde en el año de 1985 residía el 27.56% de la población total nacional, se encuentran asentadas en tres de las cinco regiones con disponibilidad natural de agua más bajas en el país; en conjunto, apenas alcanzan el 6% del total nacional. En ellas, la excesiva concentración poblacional e industrial ha provocado la sobreexplotación de los acuíferos, ha hecho necesaria la importación de volúmenes crecientes de agua de cuencas cada vez más lejanas con un costo muy alto y desajustes ambientales en las regiones exportadoras así como el desarrollo de una infraestructura muy costosa para satisfacer las crecientes demandas de este líquido.

En el AMCM se consume el mayor volumen de agua potable en el país para cubrir las necesidades del 19.7% de la población nacional. En 1983, de un volumen total de 1937.3 mm³, alrededor del 75% se destinó a satisfacer las demandas domésticas, comerciales, de servicios y públicas, mientras que un 25% fue para uso industrial.

La situación para el futuro no es halagüeña, se sabe que para el año 2000 se tendrá que importar agua de las cuencas Valle Oriental, Tecolutla y Amacuzac para intentar satisfacer las necesidades de la gran metrópoli, ya que se calcula que la demanda de agua potable se incrementará en un 70% y el agua para la industria, en un 83%.

El AMCMo es la segunda concentración urbano-industrial del país. Su población en 1980 representaba el 2.8% del total nacional y en 1985, el 3.14%. En 1975, la industria neoleonesa participaba con el 10.36% de la producción nacional y el 88% de ella se concentraba en el AMCMo. A diferencia de lo que sucede con la región del Valle de México, el balance hidráulico

de la región del Bravo, a la que pertenece Monterrey, es positivo en 219 mm³ y se considera que ésta es una de las cuencas mejor aprovechadas del país. Sin embargo, en el AMCMo la carencia de agua es muy grave. Además, el sistema de distribución es muy complejo, lo que ocasiona que ésta sea temporal e irregular; casi ninguna zona de la ciudad cuenta con el servicio por más de tres o cuatro horas.

Es obvio que el déficit está íntimamente relacionado con el nucleamiento de la población y con la concentración industrial. Las proyecciones para el año 2000 señalan que si se quiere lograr la dotación ideal por habitante (370 lts/hab/día) será necesario un volumen de 468.67 mm³, para lo que se tendrá que importar agua superficial del acueducto sur Linares Monterrey, ya que los acuíferos cercanos están sobreexplotados.

En el AMCG, que es el polo de desarrollo socioeconómico y cultural más importante del occidente del país, la carencia de agua ha sido un rasgo característico, particularmente en los meses de calor y sequía (marzo y abril). La ciudad alberga al 3.5% de la población nacional y al 80% de la población del estado.

Debe agregarse que en estas ciudades hay pérdidas y despilfarro importantes del recurso. El mal estado de la red de distribución, fundamentalmente en el AMCM, ocasiona que sólo cerca del 60% del agua disponible se distribuya a los usuarios.

Las descargas líquidas de estas ciudades representan un problema de manejo ambiental, sobre todo en los lugares receptores, tanto por el volumen -el AMCM produce 44.7 m³/seg, Monterrey 9.6 y Guadalajara 8.8 m³/seg- como por su calidad; cada día es más frecuente que, además de la contaminación biológica y orgánica, estas aguas contengan sustancias químicas industriales altamente tóxicas para la fauna, la flora y los seres humanos o que provocan daños irreversibles al suelo y a las fuentes de agua. *(Sánchez, Castillejos, Rojas, 1989)*

CONSECUENCIAS DE UNA MALA ADMINISTRACION

Cuando empiezan a aparecer los síntomas de abuso de un recurso, no tardan en surgir las *consecuencias económicas y ecológicas*. La aparente disponibilidad del agua ha cegado a la sociedad de la necesidad de administrarla con eficiencia y de adaptarse a volúmenes limitados. Las presiones en la demanda se manifiestan comúnmente en profunda contaminación, agotamiento de aguas subterráneas, descenso de los mantos acuíferos y daño a los sistemas ecológicos; el fracaso en atender estos síntomas y en lograr que el uso del agua se mantenga a un ritmo sostenible, amenaza la viabilidad tanto de la fuente del recurso como de los sistemas económicos que dependen de ella.

Cada litro de agua contaminada que se descarga sin tratamiento contamina muchos litros adicionales del agua que la recibe; aún en cantidades muy pequeñas los residuos de químicos sintéticos y de metales pesados son peligrosos y amenazan gravemente la calidad de los cuerpos de agua. *Sin un tratamiento adecuado, el volumen creciente y la toxicidad de los desperdicios podrían ocasionar que 25% del recurso disponible no se pueda usar con confianza para el año 2000.*

Muchos países industrializados requieren que sus aguas residuales cumplan ciertas normas de calidad antes de ser descargadas. Sin embargo, en la mayoría de los países del Tercer Mundo los controles para evitar la contaminación o no existen o no pueden alcanzar el ritmo de crecimiento urbano e industrial.

En casi toda América Latina, el drenaje municipal y los efluentes industriales se descargan a las corrientes más cercanas sin ningún tratamiento. Las industrias papeleras y metalúrgicas y acereras -dos de las más contaminantes de la región- han crecido a una velocidad dos veces mayor que la economía en su conjunto. Sin embargo, *los esfuerzos de saneamiento se han pospuesto debido a sus altos costos*. Por ejemplo, purificar el río

Bogotá de Colombia -una de las corrientes más contaminadas del continente- costaría mil cuatrocientos millones de dólares aproximadamente, un precio muy alto para un país endeudado. No obstante, es indispensable que los gobiernos empiecen a atacar la contaminación urbana e industrial si no quieren encontrarse con la perspectiva de abastecimientos de agua demasiado contaminados para uso de su población. *(Postel, 1991)*

En México, la contaminación biológica y química de las aguas es un problema de creciente magnitud. Se han identificado *20 cuencas que merecen atención prioritaria por las grandes descargas que en ellas se vierten*. Destacan la del Pánuco, Lerma-Santiago y Balsas. El Distrito Federal, Veracruz y Jalisco son las entidades que producen una mayor descarga de contaminantes y materia orgánica y Coatzacoalcos y Villahermosa son dos zonas críticas por la importante descarga de aguas residuales de tipo industrial. *(Sánchez, Castillejos, Rojas, 1989)*

OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS GENERALES

El Programa Hidráulico 1995-2000 ha implantado los objetivos y estrategias generales, en el mediano y largo plazos, para lograr alcanzar un desarrollo sustentable del vital recurso.

Objetivos en el mediano plazo:

- ♦ Contribuir a reducir los rezagos y limitaciones en la disponibilidad de agua, que afectan a grupos sociales desprotegidos.
- ♦ Avanzar en el saneamiento integral de cuencas, comenzando por aquellas cuya contaminación produce mayores efectos negativos para la salud, la economía y el ambiente.
- ♦ Otorgar seguridad jurídica en el derecho al uso de las aguas nacionales y bienes inherentes.

- ♦ Contribuir al proceso de transición hacia el desarrollo sustentable, mediante la racionalización de los precios del agua, con criterios económicos y ambientales.
- ♦ Ampliar los canales de participación de la sociedad en la planeación y utilización del agua.
- ♦ Administrar el recurso de manera más eficiente a través de la descentralización progresiva y constante de programas y funciones a los usuarios y autoridades locales dentro del marco del Nuevo Federalismo.
- ♦ Inducir patrones de utilización del agua más eficientes en riego, uso doméstico, uso industrial, a fin de preservar la disponibilidad y la calidad futuras del recurso.

ESTRATEGIAS GENERALES

- En la atención a los rezagos se aplicará una estrategia que privilegie el mantenimiento, la complementación y la construcción de infraestructura de alta calidad para servicios de agua potable, alcantarillado, saneamiento, control de avenidas y producción agrícola.
- La atención de los rezagos requiere de grandes inversiones, que demandan la participación privada conjuntamente con la pública. Las modalidades de financiamiento se diversifican, desde los créditos al sector público, hasta la concesión de servicios, como ya sucede en el caso de sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento. El saneamiento integral de cuencas hidrológicas también se realizará mediante la acción conjunta de los sectores público y privado.
- La seguridad jurídica en el derecho sobre el uso del agua se logrará al intensificar acciones para que los usuarios cuenten con títulos de concesión. El Estado tendrá una función reguladora para evitar distorsiones como el

acaparamiento, y para propiciar que todos los sectores tengan acceso al recurso.

- Conocer mejor la disponibilidad de agua superficial y subterránea en cantidad y calidad.
- Uso eficiente del recurso, con un incremento de la productividad económica, social y ambiental del agua, para lograr que las futuras generaciones puedan contar con él.
- Mejor aprovechamiento del agua mediante la formación de Consejos de Cuenca en todo el país.

PROGRAMAS ESPECÍFICOS Y ACCIONES

Programa de Manejo y Control del Sistema Hidrológico

Su objetivo principal es mejorar el manejo y control del sistema hidrológico para:

- aprovechar el agua de manera plena y sustentable.
- atenuar los impactos ocasionados por fenómenos naturales extremos.
- contribuir al fortalecimiento del capital natural del país y
- cumplir con los compromisos internacionales en materia de agua.

Se alcanzarán estas metas mediante la medición de los diferentes parámetros que caracterizan al sistema hidrológico, como lluvias, escurrimientos y evaporación, para conocer la disponibilidad del agua y asignar adecuadamente los volúmenes utilizables en los diferentes usos del agua.

Ampliar la red climatológica, modernizar el equipo de la red hidrométrica, rehabilitar y conservar 600 unidades de la red telemétrica y de radiocomunicación, rediseñar la red de monitoreo de calidad del agua, reactivar la red de aguas subterráneas, atender el control de la contaminación en 15 cuencas prioritarias, dar atención prioritaria a los acuíferos con problemas de contaminación (intrusión salina, contaminación urbana, industrial o agrícola), continuar y ampliar el control de malezas acuáticas.

225174

La meta es alcanzar al año 2000 la limpieza de 40,000 hectáreas. Cumplir los compromisos adquiridos en materia de protección ambiental en el marco de la Agenda XXI.

Estrategias

- Manejar el agua integralmente por cuencas, con la participación de usuarios, sectores de la población y del gobierno en los niveles estatal, municipal y federal.
- Fomentar la concientización sobre la disponibilidad y la protección de los recursos hidráulicos por cuencas.
- Reducir el impacto causado por las inundaciones, por medio del ordenamiento del uso del suelo.
- Controlar las malezas acuáticas con la política de iniciar los trabajos de limpieza en aquellos cuerpos de agua donde exista el compromiso de los usuarios para continuar los trabajos de mantenimiento.

Líneas de acción

- Se modernizarán los sistemas de obtención y manejo de la información climatológica, hidrométrica, de aguas subterráneas y de calidad del agua para obtener la precisión y exactitud necesarias para la planeación, control, elaboración de proyectos y operación de

infraestructura. Estas actividades serán realizadas dentro del Programa de Modernización del Manejo del Agua (PROMMA), a cargo de la CNA.

- Se elaborarán diagnósticos detallados de la oferta y la demanda de agua, tanto en cantidad como en calidad. Serán abarcadas las 13 regiones hidrológicas en que está dividido el país.
- Habrá un apoyo especial para el control de la contaminación de los cuerpos de agua superficiales, subterráneos y estuarinos, mediante el Programa de Monitoreo de Parámetros Físico-Químicos y Biológicos de la calidad del agua, a cargo de la CNA.
- Se intensificará la vigilancia de las descargas de aguas residuales con o sin tratamiento en las cuencas y zonas específicas señaladas en las prioridades y metas.
- Se continuará estudiando la disponibilidad de los acuíferos y en caso de sobreexplotación, se elaborarán reglamentos y programas para la reducción gradual de las extracciones que permitan corregir estas situaciones anómalas y, una vez restablecido el equilibrio, extraer únicamente los volúmenes de recarga.
- Se realizarán acciones de apoyo para el control de malezas acuáticas en los cuerpos de agua mencionados en las prioridades y metas a través del Programa de Control de Malezas Acuáticas (PROCMA), a cargo de la CNA.

Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

El objetivo es alcanzar niveles de cobertura en los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento que contribuyan al cuidado de la salud y calidad de vida de la población y al

desarrollo de las comunidades, además de frenar el proceso actual de deterioro del medio ambiente por contaminación de origen doméstico.

Se identifican los siguientes ámbitos de acción:

- *Zonas rurales.*- apoyar a elevar el servicio de agua potable en las zonas rurales, de 13.8 millones de habitantes en 1995 a 18.8 millones de habitantes al año 2000, y el saneamiento de 5.5 millones de habitantes en 1995 a 15.1 millones de habitantes al año 2000. En las zonas rurales, la CNA participará en la rehabilitación de los sistemas de agua potable y saneamiento en coordinación con los gobiernos estatales y municipales.
- *Zonas urbanas.*- promover que se incremente el servicio de agua potable en las zonas urbanas de 62.8 millones de habitantes en 1995 a 68.1 millones de habitantes al año 2000, e incrementar el servicio de alcantarillado a 56.0 millones en 1995 a 60.6 millones de habitantes en el año 2000. En las zonas urbanas se otorgarán subsidios, a través del Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (APAZU).
- *Valle de México.*- Incrementar el abasto de agua del Sistema Cutzamala para el Valle de México, de 0.6 km³/año (19 m³/s) a 0.76 km³/año (24 m³/s) y dar tratamiento a 1.3 km³/año (42 m³/s) de aguas residuales. Se consolidarán las primeras tres etapas del Sistema Cutzamala, la rehabilitación y reposición de infraestructura existente en el Valle de México, la terminación de las obras de la segunda etapa del Ramal Norte y la operación y mantenimiento de los sistemas existentes que suministran actualmente el 45% del caudal total que consume la población, con lo que se atenderá la demanda hasta 1997. Se construirá la cuarta etapa del Sistema Cutzamala en la captación Temascaltepec con la que se incrementará de 19 a 24 m³/s la

capacidad de abasto del sistema con el fin de poder satisfacer la demanda hasta el año 2000. Se construirá el Acueducto Periférico y se rehabilitará y ampliará la planta potabilizadora denominada Berros. Se dará solución integral al tratamiento de los 42 m³/s de aguas residuales que genera la zona metropolitana mediante el Programa de Saneamiento del Valle de México, a cargo de la CNA. Este proyecto incluye la construcción de macroplantas de tratamiento para cada uno de los emisores que desalojan las aguas del Valle y diversas acciones en las zonas de riego que aprovechan esos efluentes.

- *Zona fronteriza.*
- *Cuencas hidrológicas prioritarias.*
- *Cuidado de la salud pública.-* La CNA continuará el Programa Agua Limpia en coordinación con la Secretaría de Salud y los gobiernos estatales, con las siguientes acciones: coordinar la vigilancia, monitoreo y diagnóstico de la calidad del agua: instrumentar y operar los sistemas de información, seguimiento y evaluación de fuentes de abastecimiento y descargas de aguas residuales, así como de empresas embotelladoras, fábricas de hielo, plantas de tratamiento, centros de alto riesgo y cultivos restringidos regados con aguas residuales; formular y ejecutar el programa de capacitación, comunicación y divulgación de la cultura del agua.

Programa Hidroagrícola

Favorecer el aprovechamiento del agua para el desarrollo de las actividades agrícolas y reducir los impactos negativos de esta actividad en el medio ambiente, mediante los siguientes componentes.

- Irrigación y drenaje, para incorporar nuevas superficies de riego, rehabilitar y modernizar la infraestructura. Se va a incorporar a la superficie de riego 104 mil hectáreas nuevas y en la superficie de riego existente rehabilitar 800 mil hectáreas.
- Operación y Conservación de Distritos de Riego. Transfiriendo a los usuarios 42 Distritos de Riego que comprenden una superficie de 780 mil hectáreas.
- Desarrollo del Trópico Húmedo, con objeto de establecer las condiciones que permitan impulsar el desarrollo sustentable de zonas tropicales con alto potencial productivo y atender zonas rurales con niveles de pobreza extrema.
- Desarrollo Parcelario, mediante la aplicación de tecnologías modernas.
- Uso Eficiente de la Infraestructura Hidroagrícola. Se atenderán 2 millones de hectáreas de temporal tecnificado con acciones de conservación, mantenimiento de infraestructura y asistencia técnica. Estimular la inversión privada para modernizar la infraestructura en sistemas de riego.
- Uso Eficiente del Agua y la Energía Eléctrica. Apoyar e impulsar la modernización en 400,000 hectáreas de riego para utilizar de manera más eficiente el agua.
- Proyectos de control de ríos para la protección de áreas productivas.

Programa de Uso del Agua en la Industria, Generación de Energía Eléctrica, Acuacultura y Pesca

Apoyar el aprovechamiento del agua en la industria de acuerdo a las capacidades de los sistemas hidrológicos que supone el uso eficiente y el control de descargas de aguas residuales;

generación de energía eléctrica, sin causar impactos negativos a otros usos y al sistema hidrológico y para el desarrollo de la acuacultura y pesca, que contribuya a la producción de alimentos, generación de empleos y mejoramiento de las condiciones de vida en algunas regiones del país.

a) Uso Industrial

- Dar énfasis a los subgrupos industriales que requieren mayor atención tanto para su registro como para el control de las aguas residuales. Se determinará y verificarán los volúmenes de agua que utilizan y descargan los usuarios industriales en cantidad y calidad, y se promoverá el uso eficiente del agua y el tratamiento de las aguas residuales mediante incentivos económicos.
- Orientar la adecuada ubicación de nuevas industrias, mediante la difusión de material técnico y ambiental relacionado con el agua.
- Promover el reuso de aguas residuales tratadas.

b) Uso para Generación de Energía Eléctrica

- Satisfacer en el año 2000 la demanda de agua de 142 km³/año para las centrales hidroeléctricas y 2.89 km³/año para las termoeléctricas.
- Fomentar el uso del agua tratada en los sistemas de enfriamiento de las termoeléctricas.
- Se establecerán y aplicarán normas para la extracción y descarga de agua, que incentiven económicamente a reducir el consumo del recurso en las centrales termoeléctricas existentes y futuras en coordinación con el Programa de Desarrollo y Reestructuración del Sector de la Energía 1995-2000.

- Se desarrollarán mecanismos que permitan vigilar la temperatura del agua en las descargas de aguas residuales en los sistemas abiertos de las termoeléctricas, y el cumplimiento de las normas en el caso de las descargas de purgas de sistemas cerrados.

c) Uso en Acuacultura y Pesca

- Es prioritaria la vigilancia y control de las fuentes de contaminación de los cuerpos de agua dulce y esteros donde se practica la pesca y acuacultura.
- Promover el manejo integral del agua con el fin de conciliar intereses entre diferentes usuarios y propiciar una estrecha coordinación entre ellos en el cuidado de la calidad de los cuerpos de agua con potencial acuícola.
- Se promoverá el saneamiento y se apoyarán las medidas, que contribuyan al cuidado de la calidad del agua para el desarrollo de la acuacultura y la pesca, mediante la vigilancia de las fuentes de contaminación aguas arriba de los sitios destinados a estas actividades.

Programa de Uso de los Cuerpos de Agua para Recreación y Turismo, Navegación y el Medio Natural

- Asegurar los volúmenes mínimos de agua que garanticen la conservación y sustentabilidad de los ecosistemas.
- Cuidar que los cuerpos de agua respondan a las expectativas de cantidad y calidad requeridas para propiciar el desarrollo de la actividad turística, y
- Evitar que la navegación contamine los cuerpos de agua interiores y los estuarios en perjuicio de otros usos.

a) Uso por el Medio Natural

- Iniciar estudios que permitan determinar las capacidades de los ecosistemas para proporcionar agua a los diferentes usos de manera sustentable.
- Hacer participar a la sociedad en la definición del concepto del uso del agua por medio natural, y fomentar una cultura de aprovechamiento del agua de manera sustentable.
- Se participará en foros de análisis que permitan avanzar en el conocimiento del uso del agua por el medio natural.

b) Uso de los Cuerpos de Agua para Recreación y Turismo

- Apoyar a la Secretaría de Turismo (SECTUR) en aspectos técnicos y normativos para que en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, se logre la participación del sector privado y social.
- Apoyar los mecanismos de coordinación entre los gobiernos federal, estatal y municipal para comprometer a los empresarios de este sector y a la población aledaña a los centros turísticos a participar en la conservación de los cuerpos de agua, como elemento básico para la sustentabilidad de las actividades turísticas.
- Se apoyará el saneamiento de las zonas turísticas de mayor afluencia., se buscará la participación de los empresarios del turismo en la restauración y conservación de los cuerpos de agua.
- Se fomentará la cultura del agua entre empresarios y habitantes de las localidades aledañas a los centros de playa, como una forma de propiciar el crecimiento económico de los centros turísticos en un ambiente que fortalezca la salud pública y el desarrollo sostenido de los ecosistemas.

c) Uso de los Cuerpos de Agua para la Navegación

- Contar con mecanismos que contribuyan a prevenir y controlar la contaminación causada por la navegación en los cuerpos de agua.
- Coordinar con autoridades federales, estatales y municipales que tengan presencia en los cuerpos de agua para este uso, programas de vigilancia que aprovechen al máximo la participación de los diferentes sectores de la sociedad.
- Se impulsará ante el Instituto Nacional de Ecología y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, el establecimiento y aplicación de normas de seguridad para evitar fugas y descargas de contaminantes a los cuerpos de agua; controlar la navegación en zonas protegidas; y reglamentar el uso de motores para reducir la contaminación por grasas y aceites.

Programa de Administración de los Usos del Agua

Su objetivo es conocer y regular la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas nacionales y sus bienes inherentes. Esto a través de los siguiente componentes:

Regulación gubernamental.

- Regularización de los usuarios, para dar seguridad jurídica en el derecho al uso de aguas nacionales y sus bienes inherentes.
- Simplificación administrativa, para facilitarle al usuario la obtención de sus títulos de concesión o permisos.
- Diseñar herramientas para definir las zonas del país en donde la autoridad otorgue su anuencia para que el usuario pueda perforar un pozo o tomar agua superficial

sin mayor averiguación; otras en donde, porque ya no hay agua disponible, la única opción sea comprar derechos a otros usuarios, y un tercer grupo, en donde haya duda y sea necesario efectuar un estudio antes de decidir una asignación o concesión.

Incentivos económicos.

- Se otorgarán incentivos económicos a través de la Ley Federal de Derechos que induzcan los usos más productivos del agua y al control de la calidad de las descargas de aguas residuales.

Participación social.

- Se intensificará la vigilancia y control de los aprovechamientos y descargas, con objeto de verificar que los usuarios efectivamente cumplan con las condiciones establecidas en sus títulos de concesión y permisos de descarga y paguen lo que realmente les corresponde como contribuyentes.
- Se participará en la formulación de los reglamentos de los acuíferos sobreexplotados prioritarios.

Programa de Tecnología y Capacitación

El objetivo consiste en desarrollar, adaptar y transferir tecnología y capacitar los recursos humanos, que contribuyan al aprovechamiento del agua, para impulsar el desarrollo económico, social y ambiental del país.

Componentes

- Tecnología para el uso y manejo eficiente del agua en el sistema hidrológico nacional, cuencas y acuíferos, en abastecimientos de agua a ciudades e industrias y en sistemas de riego y drenaje.

- Tecnología para el control de la contaminación del agua en cuencas, almacenamientos y acuíferos, saneamiento y bienestar rural, y tratamiento de aguas residuales municipales e industriales.
- Servicios de transferencia de tecnología. **225174**
- Capacitación de recursos humanos para el manejo eficiente del agua.

Esto se logrará por medio de las siguientes acciones:

- Soportar tecnológicamente al sector público federal y al estatal en el nuevo marco del federalismo, en los aspectos de normatividad, fomento, regulación, control y administración de los recursos e infraestructura hidráulica nacionales; igualmente dar apoyo tecnológico a las asociaciones, organismos y sistemas de los sectores privado y social, que tendrán una mayor participación en los sistemas hidráulicos.
- Fortalecer al IMTA para que desarrolle actividades que permitan aprovechar el avance tecnológico en beneficio del sector hidráulico.
- Conocer mejor la dinámica de cantidad y calidad del agua en acuíferos.
- Descentralizar actividades de investigación y desarrollo tecnológico.
- Desarrollar la tecnología que incremente la eficiencia y productividad del agua para riego y transferirla a asociaciones, sistemas y usuarios hidroagrícolas.
- Se mejorarán los modelos lluvia-escurrimiento y los fluviales de morfología de ríos para una mejor localización y diseño de estructuras de protección.

- Se realizará la modelación matemática de sistemas hidrológicos y de aprovechamientos hidráulicos múltiples o complejos.
- Se mejorará la tecnología de métodos de riego con base en información de procesamiento de datos climatológicos a tiempo real y de imágenes de satélite.
- Se desarrollarán herramientas de evaluación económica para el análisis y toma de decisiones sobre la viabilidad y programación de inversiones en proyectos y programas de infraestructura hidráulica.
- Se apoyará tecnológicamente al sistema financiero del agua y a estudios del precio y pago de derechos del agua.
- Se apoyará el desarrollo de recursos humanos con programas de capacitación y estudios de especialización y posgrado.
- Se consolidará la Red Nacional de Unidades de Información Técnica del Agua y se ampliará a universidades. *(P.H. 1995-2000)*

LA IMPORTANCIA DEL AGUA COMO ECOSISTEMA, RECURSO Y RECEPTOR DE IMPACTOS

El papel del agua como integrante del ecosistema es sumamente complejo y extenso, por lo que se mencionarán únicamente algunas consideraciones generales que se relacionan con el ordenamiento ecológico y el manejo del agua.

La importancia ecosistémica de este elemento comienza desde el hecho que es el único que se presenta en los tres estados físicos: como sólido (hielo), como líquido, y en estado gaseoso (vapor de agua), por lo cual tiene un mayor número de procesos que cualquier otro elemento natural.

Dentro de los ecosistemas naturales, el agua es producto de la interrelación entre algunos elementos del clima (precipitación, evaporación), las características del sustrato geológico, y las condiciones locales de la geomorfología, lo cual influye en el comportamiento del escurrimiento y la infiltración. El comportamiento de estos dos procesos va a influir en la distribución y en las condiciones de disponibilidad, dinámica y calidad de los cuerpos de agua, de tipo superficial y subterráneo.

El ordenamiento ecológico constituye una herramienta viable para la prospección y manejo de los recursos, y es posible canalizarla a temas específicos. En el siguiente apartado, se realizará un análisis general del concepto y las fases metodológicas del ordenamiento, particularizando en las variables a considerar para el análisis de los recursos hídricos.

La metodología para el Ordenamiento Ecológico comprende 6 fases: organización, descripción, diagnóstico, prospección, propositiva, y de instrumentación y gestión.

La primera se refiere a la organización logística de los proyectos, las tres siguientes están orientadas a la identificación de potencialidades, limitaciones y dinámica del ambiente, mientras que las dos últimas corresponden a la programación de acciones para el proceso de ajuste y transformación de las actividades productivas.

Para su análisis, el ambiente como un concepto integrador se divide en tres subsistemas básicos: el natural, el socioeconómico y el productivo. Estos tres subsistemas interactúan recíprocamente y convergen en un análisis integral bajo una óptica de "sistemas complejos".

Dentro de este enfoque, el Ordenamiento Ecológico tendrá su base en la determinación del balance regional de recursos; mismo que será evaluado a partir de tres elementos básicos: la disponibilidad (entendida como el inventario de los recursos

presentes en la región), la demanda (entendida como una manera de evaluar la presión del hombre sobre los recursos a través de sus actividades) y el deterioro (calificación de la situación de los recursos en la región); el balance será la pauta para la proposición de acciones y programas que permitan planear el uso de los recursos y revertir procesos de deterioro en las zonas donde se está realizando el ordenamiento.

La fase descriptiva dará respuesta, a través de un inventario de recursos, a las preguntas ¿qué se tiene, cuánto se tiene y dónde está?. Para la caracterización de los recursos hídricos, deben analizarse detalladamente las condiciones de ubicación, distribución, tipo y cantidad, tanto de las aguas superficiales como subterráneas, así como formas de utilización y volúmenes de agua extraída por actividad.

El objetivo central del diagnóstico ambiental es evaluar la situación actual de los recursos de la zona de interés. En el caso del componente de interés, el principal método de evaluación será mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA), donde aglutina variables de tipo físico, químico y biológico, y los converge a un índice final que muestra el estado real. En esta fase, se puede incluir los problemas asociados con la sobreextracción del agua.

Durante la fase prospectiva o de pronóstico se determinarán las tendencias generales de cambio, basado en escenarios tendenciales (situación futura del área de acuerdo con las tendencias actuales), y en escenarios estratégicos (situación del área de acuerdo con un plan integral de manejo).

La fase propositiva, que constituye la fase medular del proyecto, proporciona los lineamientos para identificar las unidades de gestión ambiental (UGA's) basado en una regionalización ecológica y determina la Estrategia General del Ordenamiento, los Criterios Ecológicos y los Programas de Obras, Servicios y Acciones.

La última fase se refiere a la instrumentación, que incluye todo el procedimiento jurídico para llevar la propuesta a nivel de decreto, a la gestión, que comprende la vinculación con la población local y los sectores involucrados. Esta etapa se realiza a todo lo largo del proyecto.

El ordenamiento ecológico constituye una política ecológica que pretende regular los usos del suelo bajo una óptica de sustentabilidad, siendo necesario considerar el análisis y la evaluación de los elementos geográficos, tanto naturales como sociales desde un punto de vista sistemático, y multifuncional.
(D'Luna, 1997)

LA SITUACIÓN EN EL VALLE DE MÉXICO

Antecedentes Historicos

Desde la época precortesiana la cuenca del Valle de México ha sido económica, social y políticamente la región más importante del país y de mesoamérica. Está localizada en la parte más alta, hacia el sur de altiplano mexicano; su forma se asemeja a la paleta de un pintor, y está ubicada entre los paralelos 19°. 02' y 20°. 12' y los meridianos 98°. 15' y 99°. 00' al oeste de Greenwich.

Según Francisco de Garay se trata de una inmensa boca volcánica, en cuyo contorno y centro se ven los cráteres apagados de multitud de volcanes.

Por su parte, a fines del siglo xviii, Velázquez de León decía: "llamamos Valle de México aun con alguna impropiedad, a un país cercado por todas partes de alturas más o menos elevadas, en las que se reparten las aguas, unas corriendo para lo interior del terreno, en cuyos bajíos forman diferentes lagos y charcos, etc...". Humboldt y sus seguidores, Garay y Orozco y Berra, le concedían una extensión de 244 y media leguas cuadradas, en tanto que Luis Espinosa afirmaba que tomando por límite la cresta de las cordilleras y líneas divisorias de aguas en los lomeríos del contorno daba una extensión aproximada de 8,058 km². Sin embargo de acuerdo con levantamientos más recientes, el área de la cuenca es de 9,600 km².

Por el norte, de este a oeste, se encuentra limitada por los cerros de Sincoque, San Sebastián, Xalpa y Hueipoxtla, sierra de Texon-Tlalpan, cerro de Acayucan y sierra de Pachuca. Por el sur, también de este a oeste, por el Popocatepetl, con una altura de 5,462 m sobre el nivel del mar, la sierra de Chichinautzin, del Ajusco y el monte de la Cruces. Por el este, de norte a sur, la sierra de Pachuca, cerros Tecajete, San Gabriel Xihuinco, Tlalzalan, Tlálloc, Telapon, Papayo y los volcanes Ixtaccíhuatl y

Popocatepetl. Finalmente, por el oeste, de norte a sur, el monte Bajo, monte Alto y monte de las Cruces.

Las principales eminencias dentro del valle muchas de ellas resultado de los desprendimientos de las formaciones circundantes, constituyen las vertientes internas, siendo de norte a sur: la loma de España, los cerros Cuaqueme, Xoloc, Paula, sierra de Pitos; cerro Gordo de Chiconautla, sierra de Guadalupe, los cerros de Chiquihuite, los cerros de la Magdalena, el cerro de la Estrella, , el cerro de Chimalhuacán, el cerro de la Caldera, el cerro de Santa Catarina, el cerro del Pino, el Texolotl, el Ajusco y el Teuhtil.

El área de la cuenca del Valle de México está repartida entre los estado de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Distrito Federal.

La primera descripción del Valle de México la hizo Hernán Cortés en su segunda carta de relación:

"...la cual dicha provincia es redonda y está toda cercada de muy altas y ásperas sierras, y lo llano de ella tendrá en entorno hasta setenta leguas y en el dicho llano hay dos lagunas que casi lo ocupan todo, porque tienen canoas en torno más de cincuenta leguas. Y la una de estas dos lagunas es de agua dulce y la otra, que es mayor, es de agua salada. Divídelas por una parte una cordillera pequeña de cerros muy altos que están en medio de esta gran llanura y al cabo se van a juntar las dichas lagunas en un estrecho de llano que entre estos cerros y las sierras muy altas se hace. El cual estrecho tendrá un tiro de ballesta, y por entre una laguna y la otra y las ciudades y otras poblaciones que están en las dichas lagunas, contrastan las unas con las otras en sus canoas por el agua, sin haber necesidad de ir por la tierra. Y porque esta laguna salada grande crece y mengua por sus mareas según hace la mar todas las crecientes, corre el agua de ella a la otra dulce tan recio como si fuese caudaloso río y por consiguiente a las menguantes va la dulce a la salada..."

Contemporánea a la de Cortés es la descripción de Motolinía:

"...lo más alto de esta Nueva España y los más altos montes, por estar en la más alta tierra, parecen ser los que están más alrededor de México. Está México toda cercada de montes, y tiene una muy hermosa corona de sierras a la redonda de sí, y ella está puesta en el medio, lo cual le causa gran hermosura y ornato, y mucha seguridad y fortaleza; y también le viene de aquellas sierras mucho provecho. Tiene muy hermosos montes, los cuales la cercan como un muro.

"... de estas montañas bajan arroyos y ríos, y en las laderas y bajos salen muchas y muy grandes fuentes. Toda esta agua, y más la llovediza, hace una gran laguna, y México está situado por dentro de ella, y parte la orilla. A la parte de occidente, por la mitad del agua va una calzada que la divide: la una parte es muy petrífera agua y la otra es de agua dulce, y esta dulce entra en la salada, esta más alta y aquella calzada tiene cuatro o cinco ojos con sus puentes por donde sale el agua dulce".

Torquemada utilizó en todo lo anterior a Motolinía transcribiendo casi totalmente su texto, al que únicamente le agregó:

"...en estas lagunas dulce, y salada, solían entrar siete ríos, que aunque no eran grandes, eran suficientes para tenerlas llenas de aguas; y ella era la causa, porque esta ciudad estaba cercada, y rodeada de ella..."

Tradición Hidráulica

Los pueblos prehispánicos, desde los habitantes de las aldeas primitivas hasta los poderosos Tepacnecas, nacieron y crecieron a orillas y a expensas de los lagos; por consiguiente, las técnicas hidráulicas comenzaron a desarrollarse a partir de entonces; inclusive, como se señaló, los primeros trabajos consistieron en canales de riego para abastecer los cultivos durante las sequías. Respecto al consumo doméstico diario, fue inicialmente

acarreado en cántaros y almacenado en amplias tinajas, hasta llegar a los acueductos como resultado de una ingeniería avanzada.

Las grandes obras hidráulicas no son de ejecución reciente; puede afirmarse que el control del sistema lacustre, comenzó, por lo menos, desde la época tolteca, aunque si se toma en cuenta el cultivo de chinampas, como una obra de este tipo podría ser anterior.

En muy pequeña escala las chinampas se iniciaron, según Bernal,, tal vez varios siglos antes de cristo, pero esta práctica no pudo ser continua, pues en épocas de sequía el nivel de los lagos bajaba a tal grado que imposibilitaba su construcción.

Durante estos periodos, los moradores debían acudir a diversas técnicas de riego, para más tarde retornar a aquel sistema; así aconteció en Texcoco durante el gobierno de Tlotzin, alrededor de 1327, cuando un grupo de Toltecas que habían emigrado al sureste, regresaron y se mezclaron con los Chichimecas, introduciendo muchos adelantos como la construcción de casas, la cerámica y la agricultura intensiva.

Los lagos del sur, Xochimilco y Chalco, ofrecieron las mejores condiciones para las chinampas por contar con numerosos manantiales y con un desagüe natural hacia la laguna de México. Ello tuvo vigencia por lo menos hasta antes de la llegada de los mexicas.

Sin embargo, los pueblos no chinamperos, es decir, aquellos de los que no se tiene noticia segura de que lo fueran, también efectuaron obras hidráulicas importantes, una de ellas fue la desviación del río Cuautitlán.

Según Orozco y Berra, los habitantes de Cuautitlán, que no practicaban sacrificios ni levantaban templos, permitieron a los de Culhuacán establecerse en tierras cercanas y edificar un templo en "tlamcazcan in altepetl", dentro de la ciudad. Los

culhuas, más adelantados que los cuautitlanenses, engrandecieron Cuautitlán y realizaron las obras de desviación del río que a lo largo de años había destruido ya muchas casas y provocado frecuentes inundaciones. Más adelante, añaden los anales, que el cambio del curso se aprovechó para irrigar terrenos mediante una represa.

El texto explica que en 1433, cuando los tepacnecas de Tonantitlán fueron a establecerse en Toltitlán, el señor Tecocohuatizin les pidió que represaran el río en un lugar que se llamaba Tepolnexco, lo cual hicieron con vigas que pusieron "enhiestas y juntas". Esta represa torció otra vez el curso del río y fue a desembocar en la laguna de Citlaltépetl. Dos años más tarde se completaron los trabajos para contener el río, se limpió de lodo la acequia, en siete años se restauró todo el canal y se secó enteramente el caserío... este canal se llama hoy Aytictli y ya está convertido en sementera. *(PLT, 1995)*

La primera obra importante realizada en el valle para abastecimiento de agua durante la época colonial, fue la reconstrucción del acueducto de Chapultepec.

En 1553, ante la escasez de agua en la parte norte de la ciudad, se ordenó la construcción del acueducto Azcapotzalco-Tlatelolco, que captaba el agua de los manantiales de Xancopinca.

Entre 1575 y 1582 se construyó el acueducto de Belén, que conducía agua de Chapultepec a lo largo de la Calzada de San Pablo (actualmente avenida Chapultepec) y terminaba en el pueblo del mismo nombre, entregando parte de su caudal en la pila del Salto del Agua.

A principios del Siglo XVII se edificó el acueducto de La Verónica, que corría por la que hoy es avenida Melchor Ocampo hasta la pila de la Tlaxpana en la Calzada México-Tacuba, para de ahí descender hasta la pila de La Mariscala, frente al actual Palacio de Bellas Artes.

A mediados del Siglo XVIII se construyó el acueducto de Guadalupe, que abasteció a la zona del Tepeyac, al norte de la capital.

Para aumentar el abastecimiento, a finales del Siglo XVIII se captaron los manantiales del Desierto de los Leones, cuyas aguas se condujeron hasta entroncar con los acueductos de Chapultepec y La Verónica, aprovechando la capacidad disponible de estas obras.

A principios del México independiente, la escasez de recursos no permitió la construcción de nuevas obras de captación y conducción. Sin embargo, se mejoró la distribución del agua construyendo nuevas pilas. En 1847 se inició en México la perforación de pozos a cielo abierto; este método se popularizó rápidamente por su economía. A finales del Siglo XIX había ya más de mil pozos perforados en la Ciudad de México.

Como la población aumentaba rápidamente y había que incrementar el abastecimiento de agua, en 1899 el Ayuntamiento de la Ciudad de México encargó al ingeniero Manuel Marroquín y Rivera realizara un estudio de posibles fuentes de abastecimiento. En 1901 presentó su Proyecto de Abastecimiento y Distribución de Aguas Potables para la Ciudad de México, donde proponía el empleo de los manantiales de Xochimilco.

Entre 1905 y 1908 se construyó el acueducto de Xochimilco que consistía en captar 2,100 litros de agua por segundo de los manantiales La Noria, Nativitas, Santa Cruz y San Luis, por medio de dos bombas eléctricas instaladas en cada uno. Una vez captada, el agua se bombeaba por un acueducto de 26 kilómetros de longitud hasta la planta de bombas de La Condesa, que contaba con 4 bombas centrífugas de 850 litros cada una, elevándose desde ahí hasta los 4 tanques de regularización y distribución de Molino del Rey, cuya capacidad se diseñó para 50 mil metros cúbicos cada uno.

Todavía en 1908, cuando el acueducto de Xochimilco inició su operación, llegaba a La Condesa agua de Chapultepec; no fue sino hasta 1912 cuando se suspendió la explotación de estos manantiales.

La revolución mexicana creó una conciencia sobre la propiedad nacional de los recursos naturales, así como de la necesidad de hacer una equitativa distribución de la riqueza pública y cuidar de su conservación.

La Constitución de 1917, en su Artículo 27 establece que la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponde originariamente a la Nación.

Este artículo estipula además la regulación del aprovechamiento de los recursos hidráulicos mediante concesiones otorgadas por el Ejecutivo Federal y limita el alumbramiento de aguas del subsuelo cuando así lo exija el interés público.

Al lograrse la pacificación del país y para satisfacer la demanda de la cada día creciente población del Área Metropolitana, se construyeron obras adicionales de captación, conducción y bombeo en el acueducto de Xochimilco, así como otros sistemas menores y pozos conectados directamente a la red.

En la década de los veinte, el ingeniero Roberto Gayol, al verificar el nivel de las compuertas de San Lázaro, punto de partida del Gran Canal, descubrió que la Ciudad de México se hundía. Ya no se debería extraer más agua del acuífero; había que pensar en otras fuentes fuera del Valle de México. La idea de traer agua de la Cuenca del Lerma, concebida desde fines del Siglo XIX, se convirtió en un proyecto ejecutivo en la década de los treinta y en 1941 se iniciaron las obras de este proyecto. Para conducir el agua captada, por medio de pozos en la cuenca del río Lerma, se construyó un acueducto y el túnel Atarasquillo-Dos Ríos de 15 kilómetros de largo que atraviesa la

Sierra de las Cruces, la cual divide las cuencas del Lerma y del Valle de México.

Hacia 1950, la dotación de agua potable al D.F. era teóricamente aceptable; sin embargo, el crecimiento demográfico continuaba y el número de pozos dentro del valle de México seguía creciendo. Ya para este tiempo, la ciudad se hundía a un ritmo de 50 cm. por año, lo cual ocasionó fracturas en las cimentaciones de los edificios, en las banquetas y en el sistema de desagüe.

Ante este panorama, en 1951 el Ejecutivo Federal, por Decreto Presidencial, creó la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, que tenía entre sus objetivos: cuantificar los factores que intervienen en el ciclo hidrológico; diseñar un programa general aplicable a los diversos usos de las aguas disponibles en la cuenca propia, tanto superficiales como subterráneas y negras; determinar los recursos hidráulicos de la Cuenca del Valle, tomando en consideración los caudales de agua que puedan traerse de otras cuencas y las extracciones necesarias o factibles para fuera del valle y planear las obras necesarias para el más eficaz aprovechamiento de las aguas de la cuenca, ya sea dentro de ella misma o bien fuera de ella mediante extracciones controladas. Esta Comisión dependía de la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos.

El crecimiento demográfico en el Área Metropolitana rebasó todas las proyecciones posibles. De 1.6 millones de habitantes que tenía la Ciudad de México en 1930, había llegado a 8.5 en 1970. Adicionalmente a las obras ya mencionadas se construyó la segunda etapa de las obras del Lerma, así como el Sistema Chiconautla y otros sistemas, todos ellos basados en la extracción de agua por medio de pozos.

A principios de 1972 el problema del abastecimiento de agua era crítico. El Área Metropolitana del Valle de México ya no se limitaba en el Distrito Federal; había que considerar a los municipios de Huixquilucan, Naucalpan, Tlalnepantla, Atizapán,

Cuautitlán-Izcalli, Tultitlán, Coacalco, Ecatepec, Ciudad Nezahualcóyotl, Los Reyes La Paz y Chimalhuacán, pertenecientes al Estado de México, pero formando un todo conurbado con la Ciudad de México. Las soluciones basadas en perforación de pozos locales para el Distrito Federal y para cada uno de estos municipios, no eran ya aceptables por los hundimientos que provocarían. El problema rebasaba a las entidades federativas. Había que pensar en soluciones de tipo federal.

225174

Ante esta situación, el Gobierno Federal constituyó, por Decreto Presidencial del 17 de agosto de 1972, la Comisión de Aguas del Valle de México, dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, que en 1976 pasó a formar parte de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. La nueva comisión absorbió a la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México.

La CAVM quedó definida como un organismo desconcentrado técnica y administrativamente que tenía por objeto programar, proyectar, construir, operar y conservar las obras necesarias para aprovechar los recursos hidráulicos de la Cuenca del Valle de México, así como aquellas que sean necesarias para traer el líquido de otras cuencas.

Mientras se desarrollaban los proyectos ejecutivos que permitieran conducir agua de cuencas vecinas al Valle de México, se resolvió el problema de abastecimiento mediante un Plan de Acción Inmediata.

Con este plan se lograron aprovechar los acuíferos del Valle de México en zonas alejadas al área urbana o bien donde el subsuelo basáltico soporte las extracciones sin provocar hundimientos de consideración.

En 1982 ya se habían construido más de 200 pozos, 225 kilómetros de acueductos, 6 plantas de bombeo, una planta potabilizadora y una de reuso.

Sin embargo, mientras que la recarga natural del acuífero era del orden de 700 millones de metros cúbicos por año, la extracción rebasaba los 1,500 millones de metros cúbicos por año. Es decir, existía una sobreexplotación de más del 100 por ciento, ocasionando el hundimiento de la Ciudad de México, que en algunos lugares alcanzaba hasta 9 metros. (*Sistema Cutzamala, 1982*)

Ante la problemática que ya desde principios del Siglo XX enfrenta la Ciudad de México con los acelerados ritmos de hundimiento, provocados por la explotación del agua subterránea y la cada día más difícil tarea de abastecer la demanda de agua potable sin afectar los acuíferos del Valle de México, se hizo necesario recurrir a la transferencia de agua de cuencas externas al Valle, como el Sistema Lerma que mediante una batería de pozos profundos y un acueducto, entró en operación en 1951 para complementar la oferta del líquido, cuya demanda ya no era posible satisfacer con los caudales locales.

El Sistema Lerma se inició con 4 m³/seg. y para 1974 llegó a aportar 14 m³/seg., explotación que con el transcurso del tiempo ocasionó un severo abatimiento de los acuíferos de los Valles de Toluca e Ixtlahuaca, por lo que fue necesario reducir su explotación.

A principios de la década de los 70's, en el Valle de México, se incrementó la extracción de aguas subterráneas por medio de pozos y norias, motivado por la creación de gran cantidad de industrias y fraccionamientos que rápidamente se desarrollaron, originando nuevas necesidades de agua potable, tanto en el Distrito Federal, como en los 11 municipios del Estado de México que para ese entonces ya se encontraban conurbados a la Capital, lo que hizo necesario el planteamiento de abastecer de agua potable a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, mediante cuencas externas diferentes a la del Lerma, la que para entonces, ya presentaba signos de sobreexplotación.

Ante esa situación, en 1972 se constituye la comisión de Aguas del Valle de México, con el objetivo de programar, proyectar, construir, operar y conservar las obras necesarias para aprovechar los recursos hidráulicos de la Cuenca del Valle de México, así como aquellas que fueran necesarias para traer el líquido de otras cuencas.

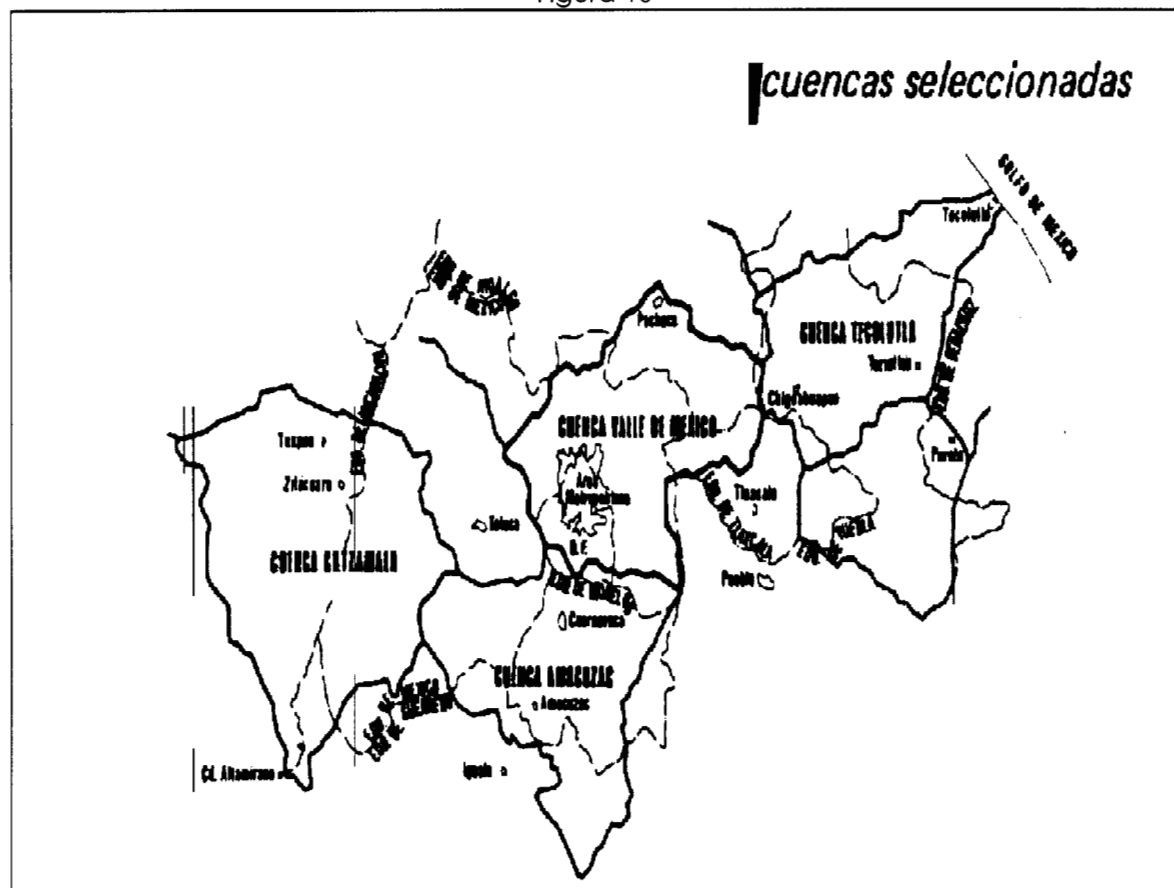
A partir de entonces, se continuaron los estudios de abastecimiento de agua potable iniciados por la extinta Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, que incluían diversas alternativas, desde captaciones cercanas al Valle de México, hasta cuencas hidrológicas tan lejanas como la del Río Papaloapan, prevaleciendo en estos análisis el dejar reservas para los usos locales presentes y futuros, analizándose su factibilidad hidrológica, técnica, política, social, económica y financiera. Se correlacionaron caudales disponibles, longitud del recorrido, desniveles respecto a los puntos de captación y entrega, energía para su operación, topografía, calidad del agua, tenencia de la tierra, aspectos tecnológicos, cambio de uso del agua y sus consecuencias.

Las regiones más viables para este abastecimientos con fuentes externas, correspondieron a las cuencas de: Cutzamala al oeste, Tecolutla y Oriental Libres al este, Amacuzac al sur y Tula (Taxhimay) al norte, aportando 19, 15, 7, 11 y 2.5 m³/seg. respectivamente, con lo que se estima podrán cubrirse las demandas del vital líquido para el año 2000, combinándose con el ahorro por reuso del agua mediante el tratamiento de aguas negras y su intercambio por aguas blancas que hoy en día se extraen del subsuelo del Valle de México y que se destinan a usos agrícolas, industriales y de servicios. La figura 10 nos muestra las cuencas seleccionadas.

La utilización del agua de estas cuencas, no debe verse desde un punto de vista exclusivo de abastecimiento de agua al Área Metropolitana de la Ciudad de México, ya que desde su origen y a lo largo de la conducción, deben atender en primer lugar las necesidades locales, actuales y futuras.

Se requiere desde luego, el cuidado de las zonas de captación y la preservación de la calidad del agua, efectuando obras que no sólo eviten dañar el sistema ecológico, sino que tiendan a mejorarlo, pero fundamentalmente habrán de tomarse en cuenta los problemas socio-políticos que surjan, motivados por la transferencia y/o cambio del uso del agua, entre habitantes de una misma entidad, o entre diversas entidades federativas y aun entre dependencias que manejan distintos usos del agua, para su adecuada y oportuna solución.

Figura 10



Fuente: Documento del Sistema Cutzamala, Primera Etapa. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Abril de 1982

Existe siempre un gran problema a resolver en este sentido: el habitante de la ciudad en su gran mayoría, ve al agua potable como un derecho, como parte de su "habitat"; por otra parte, el habitante de las zonas de captación considera la explotación y transporte de agua en bloque, como un despojo; conciliar es el reto y la gran responsabilidad; hacer conciencia en los

habitantes de la ciudad del gran esfuerzo que conlleva el suministro de agua en bloque, que reclama correspondencia por parte del usuario, en cuanto a su cuidado, buen uso y pago del servicio. *(Sistema Cutzamala, 1985)*

La oferta y la demanda

La tarea hidráulica de abastecer de agua a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, debe atender por una parte, la demanda anual que provoca el incremento poblacional estimado en novecientos mil habitantes, y por otra reducir la sobreexplotación de las fuentes de abastecimiento subterráneas en los Valles de México y Toluca-Ixtlahuaca.

Es importante destacar que la Zona Metropolitana de la ciudad de México no cuenta con sitios adecuados para regularizar el agua de lluvia, por estar asentada la población en la parte más baja del Valle ; las precipitaciones medias son de 730 mm. anuales en promedio, concentradas en cuatro meses del año, que dan una recarga al acuífero del orden de los 725 millones de m³ anuales, equivalentes a 23 m³/seg. y una sobreexplotación de más del 100 por ciento de la recarga, causa fundamental de los hundimientos, lo que hace necesario ejecutar proyectos que permitan la importación de agua de cuencas externas que coadyuven a disminuir la sobreexplotación del acuífero mediante la cancelación de POZOS. *(Sistema Cutzamala, 1985)*

La demanda de agua en el Área Metropolitana se ha dividido en tres grandes grupos: doméstico, industrial y de comercios y servicios. Por estudios estadísticos se ha calculado que la dotación requerida promedio para cada grupo es de 216 litros diarios por habitante, en el doméstico, de 74 para consumo industrial y para comercios y servicios de 70. Así se tiene que la dotación total promedio es de 360 litros/habitante/día.

Tomando en cuenta esta última cifra y las proyecciones del crecimiento demográfico, que para el año 2000 suponen entre

25 y 29 millones de habitantes en el Área Metropolitana, se ha planeado el abastecimiento futuro, para producir en esa fecha entre 104 y 121 metros cúbicos por segundo. (*Sistema Cutzamala, 1982*)

Actualmente el suministro es de aproximadamente 64 m³/seg. que provienen de las siguientes fuentes:

44 m³/seg. Subsuelo del Valle de México
6 m³/seg. Sistema Lerma
14 m³/seg. Sistema Cutzamala

De este abastecimiento de 64 m³/seg. para usos domésticos, industriales y de servicios, la Comisión Nacional del Agua, a través de la GRAVAMEX, proporciona 22 m³/seg. que incluyen 8 m³/seg. de aguas del propio Valle de México, conducidos a través de 16 ramales con aproximadamente 300 pozos en operación y la Presa Madín, así como 14 m³/seg. del Sistema Cutzamala.

En esta tarea de abastecimiento de agua a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, un programa a corto plazo es la conservación de caudales actualmente suministrados, mediante la rehabilitación y reposición de pozos en las líneas de conducción existentes, así como la construcción de nuevos pozos en asentamientos aislados que no cuentan con la interconexión a las redes de distribución, buscando a la vez no disminuir la potencialidad de los acuíferos, para evitar los efectos negativos de la sobreexplotación, cuyas consecuencias son: el abatimiento de los mantos acuíferos; el hundimiento de la Ciudad de México; el deterioro de la calidad del agua subterránea explotada; la aparición de agrietamientos del terreno que ponen en peligro de fallas a las estructuras existentes y el cambio y transtorno ecológico.

Aunado a lo anterior se considera fundamental el tratamiento de aguas residuales y su reuso en la industria, riego y otros servicios, con lo que se logrará liberar aguas limpias para uso doméstico, o bien reducir la sobreexplotación de los acuíferos,

para lo cual se dispone de diversos proyectos, entre los que se cuenta la Planta Lechería, totalmente terminada y a la fecha concesionada a la iniciativa privada, para aportar un caudal de 400 lts/seg.

Independientemente de los esfuerzos que en esta materia realiza el sector público, se requiere implantar la obligación a las industrias de tratar sus aguas residuales y recircularlas en sus procesos, si es que es su deseo permanecer en el Valle de México.

El tratamiento de agua es una solución más económica que la importación de agua de fuentes externas (50 por ciento). Requiere de redes de distribución y sobre todo de un cambio de actitud tanto del industrial como del agricultor, ya que en la actualidad se resisten a utilizarlas, prueba de ello es que existen en el Valle de México, plantas construidas por el D.D.F. y el Estado de México con una capacidad mayor a los 5 m³/seg. de los cuales escasamente se utilizan 2 m³/seg.

Lo deseable es que esta Ciudad no creciera arriba de los 25 millones de habitantes e inclusive se frenara antes de llegar a esta cifra; de no ser así las nuevas generaciones tendrán que recurrir a proyectos de importación de agua con desniveles mayores a los 2,000 m., o bien desarrollar tecnología altamente especializada que permita utilizar las aguas negras tratadas para consumo humano a un costo competitivo. (*Sistema Cutzamala, 1985*)

SISTEMA CUTZAMALA

Descripción General

El proyecto consiste en el aprovechamiento de siete presas de almacenamiento y de derivación, correspondientes a la cuenca alta del Río Cutzamala; la construcción de un vaso regulador y un acueducto de 127 km que incluye 19 km de túneles y 7.5 km de canal; la construcción de una Planta Potabilizadora con capacidad de 24 m³/seg.; seis plantas de

bombeo para vencer un desnivel de hasta 1,100 metros cuya operación requerirá de una energía total de 1,650 millones de kilowatts hora por año y 24 km de túneles dentro de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México que corresponden a los ramales Norte y Sur de 12.5 y 11.5 km respectivamente para la distribución del agua al Estado de México y al Distrito Federal.

Su ejecución se inició en 1976 mediante 3 etapas constructivas de 4, 7 y 8 m³/seg. respectivamente.

La primera etapa aporta 4 m³/seg. procedentes de la Presa Villa Victoria, que se conducen a través del Canal Martínez de Meza de 12 km al primero de seis módulos de la Planta Potabilizadora de Berros y posteriormente se realiza su bombeo en la Planta No. 5, venciendo una carga total de 174 m para conducir el agua a través de un acueducto de tubería de concreto preesforzado de 2.50 m de diámetro y 12 m³/seg. de capacidad en una longitud de 77 km, atravesando la Sierra de las Cruces en la parte noroeste del Área Metropolitana mediante el túnel de 15 km Atarasquillo-Dos Ríos, que conduce también las aguas del Alto Lerma, iniciándose en Dos Ríos la distribución del agua.

La segunda etapa consiste en la captación y conducción de 7 m³/seg. aprovechándose de la Presa Valle de Bravo 6 m³/seg. y 1 m³/seg. de la Presa Chilesdo.

Para ello se ha construido la conducción de la Presa Valle de Bravo a la Planta Potabilizadora de Berros, que incluye tubería de acero de alta y baja presión, con diámetros que fluctúan entre 1.83 y 3.27 m, en una longitud de 14.5 km, así como las Plantas de Bombeo 2, 3 y 4 para vencer una carga de 122, 350 y 350 respectivamente.

En las Plantas 2, 3 y 4 se han instalado para la Segunda Etapa los primeros tres equipos de 4 m³/seg. de un total de seis que tendrá cada una.

En este aspecto las magnitudes de los motores de las plantas de bombeo alcanzan niveles extraordinarios, ya que para vencer cargas de hasta 350 m se ha requerido de una potencia de 21,700 caballos de fuerza para cada uno de ellos. Así mismo, los elementos y piezas especiales utilizadas, como las válvulas esféricas y de mariposa que protegen los equipos de bombeo, son también de un tamaño inusitado.

Las plantas de bombeo de este sistema, para decirlo en una analogía, permiten elevar el contenido de 19 tinacos de 1,000 litros cada uno a una altura de 1,100 m., equivalentes a siete y media veces la altura de la Torre Latinoamericana y recorrer 127 km, distancia equivalente al trayecto de ida y vuelta de la carretera México-Cuernavaca, todo ello, para poder suministrar 19,000 litros cada segundo.

Cada Planta de Bombeo cuenta con una torre de sumergencia y una de oscilación, la primera tiene como función proporcionar la carga y volumen que requieren los equipos de bombeo para su arranque y la segunda, evitar el golpe de ariete en la tubería de presión de acero que va de la planta de bombeo a la torre de oscilación, eliminando dicho golpe del resto de la conducción.

Estas torres de sumergencia y oscilación, son estructuras cilíndricas de concreto reforzado, de colado continuo, con altura variable de 37 a 58 m, equivalentes en promedio a un edificio de 20 pisos, teniendo diámetros interiores de 10 m y sus paredes, espesores de hasta 1.60 m.

También se construyó el Vaso Donato Guerra que funciona como regulador, enviando por gravedad hasta 19 m³/seg. a la Planta Potabilizadora para asegurar en ésta un suministro continuo durante las 24 horas, ya que el proyecto contempla el dejar de bombear agua de las presas Valle de Bravo y Colorines durante 4 horas al día, para permitir la generación de energía eléctrica en las horas de mayor demanda.

A partir de esta Obra, se conducen los caudales mediante un canal abierto de sección trapezoidal con longitud de 7.5 km y capacidad de 24 m³/seg., hasta el portal de entrada del túnel Agua Escondida de sección de herradura de 4.2 m y longitud de 3.1 km. Del portal de salida de este túnel se conduce el agua mediante tubería de concreto hasta el tanque receptor de aguas crudas de la Planta Potabilizadora.

La presa derivadora de Chilesdo, permitirá enviar a la Planta Potabilizadora hasta 5 m³/seg. durante la época de avenidas, mediante la Planta de Bombeo No. 6 y su torre de oscilación, con un gasto medio anual de 1 m³/seg. a través de tubería de concreto preesforzado y de acero de alta presión en 11.3 km.

Con esta obra se reducen notablemente los costos de operación al evitar que las aguas del Río San José Malacatepec escurran hasta la presa Colorines, ya que la carga de bombeo de la Presa Chilesdo a la Planta Potabilizadora es de 215 m y desde Colorines es de 980 m.

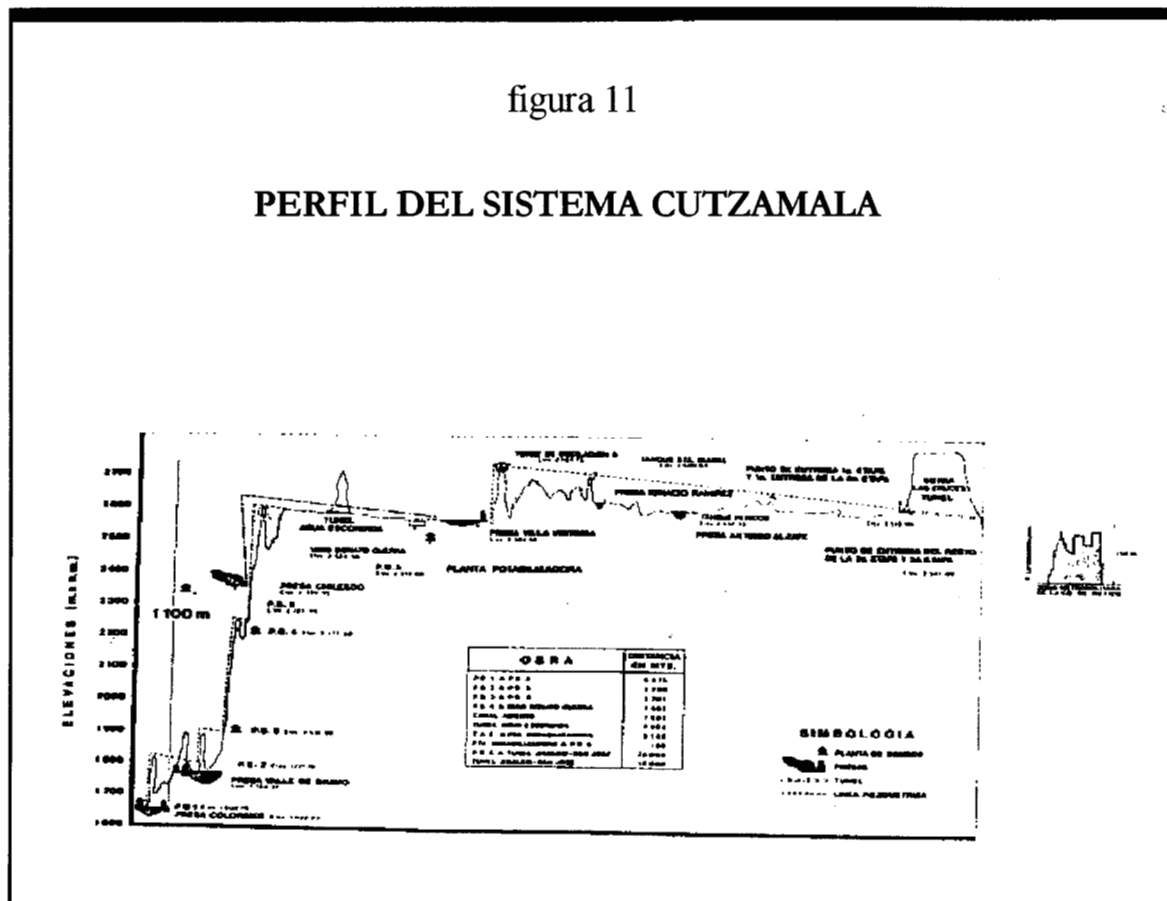
La Planta Potabilizadora de agua del Sistema, cuenta con laboratorios y sistemas computarizados de control que la convierten en modelo en su tipo. Su capacidad total es de 24 m³/seg. con 6 módulos de potabilización de 4 m³/seg. cada uno.

En la Planta de Bombeo No. 5 además de los equipos que operan en la Primera Etapa, se dispone de tres bombas con capacidad de 4 m³/seg. que elevarán el agua 174 m hasta la Torre de Oscilación No. 5 y a partir de este punto se inicia la conducción por gravedad a través del acueducto de 77 km hasta el portal de entrada del Túnel Anaco-San José, de 16 km de longitud, sección portal de 4.60 m de diámetro y capacidad de 34 m³/seg. que atraviesa la Sierra de las Cruces y por el cual se conducirán los caudales de la conducción total de 19 m³/seg., de que cuenta el Sistema.

La Lumbrera No. 3 de este túnel se considera la estructura repartidora de gastos hacia el Estado de México y el Distrito Federal mediante la operación de compuertas que se instalaron en este punto. De esta estructura, parten los Ramales Norte y Sur que integran el acueducto periférico del Área Metropolitana de la Ciudad de México.

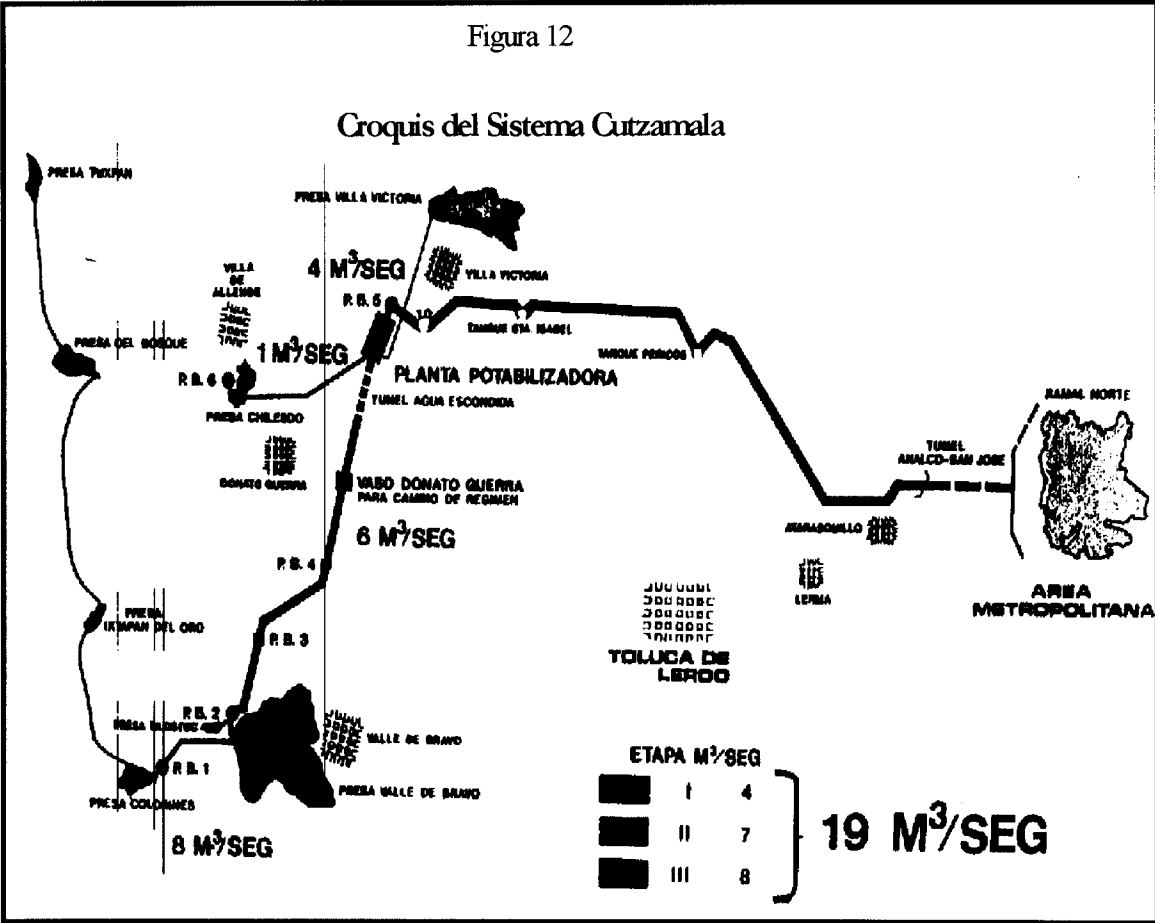
La Tercera Etapa capta en la presa derivadora de Colorines 8 m³/seg. procedentes de las presas Tuxpan y el Bosque, en el Estado de Michoacán, e Ixtapan del Oro, en el Estado de México, con la Planta de Bombeo No. 1, Colorines, para una capacidad de 20 m³/seg. y carga de 157m; la conducción de 4 km de Colorines a Valle de Bravo.

Las figuras 11 y 12 nos muestran el perfil del Sistema Cutzamala y su croquis respectivamente. Se podrá apreciar la elevación y la longitud que se debe bombear y recorrer el agua.



fuentes: Documento del Sistema Cutzamala, Segunda Etapa. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, julio de 1985

Conforme a las políticas del Gobierno Federal, de realizar inversiones que propicien el cuidado y el mejoramiento de las zonas de captación y la preservación de la calidad del agua, en aquellas regiones que forman parte del Sistema Cutzamala, se han llevado a cabo numerosas e importantes obras de beneficio social como: canales de riego, bordos de almacenamiento, caminos de acceso para el traslado de los productos del cultivo; granjas ovinas y porcícolas, baños garrapaticidas, centros de capacitación y sistemas de agua potable y saneamiento entre otras.



Fuente: Documento del Sistema Cutzamala, Segunda Etapa. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, julio de 1985

Asimismo, se han realizado convenios con los pobladores de las regiones aledañas a las obras del Sistema, que consisten generalmente en la concesión del acarreo de los agregados que se utilizan en la construcción de las obras, tales como arena, grava, tepetate y tezontle, cubriéndose el pago

correspondiente a estos materiales, lo que además de generar empleos en la región aprovechando la mano de obra disponible, ha favorecido a los habitantes de la zona formando uniones de transportistas.

Destacan por su importancia las obras correspondientes a las poblaciones de Valle de Bravo y Colorines, donde se llevan a cabo los trabajos de rehabilitación y ampliación de los sistemas de agua potable, así como el Sistema de Saneamiento de la Presa Valle de Bravo.

La rehabilitación y ampliación del sistema de agua potable de Valle de Bravo consiste fundamentalmente en la captación del manantial ELIGIO o LOS GUADARRAMA, mediante una línea de conducción de 7.5 km de longitud, la construcción de 9 tanques de almacenamiento y la rehabilitación de la red primaria de distribución.

Con estas obras se elevará la cantidad suministrada de 60 l.p.s. con la que se sirve a una población actual de 14,000 habitantes, a 140 l.p.s., cantidad suficiente para abastecer a 33,000 habitantes, población estimada al año 2000.

Para conservar el entorno natural en el área de influencia del Sistema Cutzamala, se ha establecido un programa de reforestación a lo largo de la línea de conducción para restaurar la afectación al recurso forestal que implicó la realización de las obras del Sistema.

Otro beneficio regional es el que se obtiene de los sistemas de saneamiento de las Presas Valle de Bravo y Colorines que consisten en el desvío de las aguas negras que actualmente se descargan en los lagos, para conducir las fuera de sus cuencas.

El saneamiento de sus aguas, reducirá en forma importante la concentración de microorganismos de todo tipo y por lo tanto del lirio acuático y otras malezas, que recientemente se han convertido en una plaga local, al eliminar los nutrientes que

aportan las aguas negras, independientemente de los trabajos que a través de medios mecánicos se realizan para su desalojo.

Con estas acciones, las condiciones de las aguas que almacenan estas presas, serán mejores en todos sentidos, principalmente para la conservación ecológica de la región y sus funciones como centros turísticos y recreativos, incrementando el bienestar de los habitantes y el turismo.

Por otra parte el cambio de uso del agua, permite que los niveles del lago de Valle de Bravo sean en promedio 5 metros más altos que los que se mantuvieron durante su utilización para generación de energía eléctrica. (*Sistema Cutzamala, 1985*)

El control de calidad del Agua en el Sistema Cutzamala

La Planta Potabilizadora del Sistema Cutzamala, hace posible que el agua suministrada a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México cumpla con la calidad determinada por las normas nacionales.

El proyecto integral de la Planta Potabilizadora de Berros incluye 6 módulos de tratamiento. Cada uno de ellos tiene capacidad de potabilizar 4,000 l.p.s.

El agua cruda llega a un tanque de recepción de 6,500 m³ formado por dos cámaras. Posteriormente pasa a unos conductos Parshall donde el caudal es medido y se adicionan los siguientes reactivos: sulfato de aluminio que sirve como coagulante y cloro para evitar el desarrollo de algas durante el proceso.

El agua es conducida a la sección de potabilización, iniciándose el proceso con la floculación que se realiza con ayuda de paletas agitadoras de eje horizontal, instaladas en 4 tanques de 2,000 m³ de capacidad cada uno.

Concluida la floculación, el agua pasa a 4 tanques denominados de sedimentación de 4,000 m³ cada uno, los cuales cuentan con un conjunto de placas paralelas de asbesto-cemento, con una separación de 5 cm e inclinadas 60° , las que propician y aceleran la precipitación de los grumos o flóculos en suspensión. Estos flóculos se depositan en forma de lodo en el fondo del tanque de donde son extraídos mediante un sistema de succión suspendido de un flotador que recorre los tanques en sentido longitudinal.

Una vez sedimentada el agua, pasa a la sección de filtros consistente en 4 tanques con capacidad total aproximada de 4,000 m³ que contienen lechos de grava y arena sílica apoyados en un falso fondo constituido por losas con boquillas microranuradas por las cuales pasa el agua ya filtrada con calidad potable, Los lechos de arena y grava mencionados requieren ser lavados periódicamente mediante aire y agua que se inyecta en sentido inverso por las boquillas.

Posteriormente se adiciona cal al agua que sale de los filtros a fin de neutralizar el efecto corrosivo, propiciado por la adición de los coagulantes inicialmente citados.

El agua potabilizada pasa a un tanque de recepción de aguas claras con capacidad total de 35,000 m³ que es al mismo tiempo el tanque de sumergencia para las bombas que envían el agua hacia el Área Metropolitana. (*Sistema Cutzamala, 1985*)

El caso del Distrito Federal

El Distrito Federal requiere de una aportación aproximada de 35 m³/s de agua para satisfacer las necesidades de los cerca de nueve millones de personas que habitan en él; 98% de las cuales son abastecidas por medio de tomas domiciliarias y el resto mediante el uso de carros-tanque.

El DF para satisfacer sus requerimientos de agua utiliza 4.7 % del total de agua que consume América Latina diariamente. El

agua suministrada proviene de los acuíferos de los valles de México y Lerma, de manantiales y del río Magdalena y del río Cutzamala. Aproximadamente 65% del agua es proporcionada por el Gobierno del Distrito Federal a través de las instalaciones de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) y 35% por medio de la Comisión Nacional del Agua, a través de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México (GRAVAMEX). (INE, 1994)

La infraestructura disponible para proporcionar el servicio de suministro de agua potable se resume en la tabla 11

tabla 11 Agua Potable

Nivel de servicio en el Distrito Federal (1994)	
Cobertura	%
Vía red	98
Vía carros-tanque	2
Infraestructura en operación (1994)	
Estructura	Cantidad
Pozos	856
Kilómetros de líneas de conducción y acueductos ^a	521
Tanques de almacenamiento y regulación ^b	279
Estaciones de rebombeo	227
Kilómetros de red primaria ^c	659
Kilómetros de red secundaria ^d	11,440
Manantiales	47
Plantas potabilizadoras	5
Plantas a pie de pozo	11
Dispositivos de desinfección	356

^a Líneas que conducen el agua potable de la Zona de captación a los tanques de almacenamiento y red primaria (su diámetro varía entre 0.15 y 1.83 metros).

^b La capacidad conjunta de los tanques es de 1.6 millones de metros cúbicos.

^c Se considera como red primaria aquella cuyo diámetro es igual o mayor a 0.5 metros.

^d Se considera como red secundaria aquella cuyo diámetro es menor a 0.5 metros.

Fuente: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, DDF, 1994. *México, Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1993-1994*, Instituto Nacional de Ecología., SEMARNAP

La necesidad de políticas de uso eficiente para alcanzar un desarrollo sustentable del recurso

Actualmente, se busca la aplicación de instrumentos de mercado para favorecer y promover un uso más eficiente de los recursos naturales, renovables y no renovables, integrando en el diseño de las políticas públicas la definición de una Agenda Ambiental de la Economía Urbana para poder ganar la batalla

de un crecimiento económico sustentable. Hoy, cada gobierno local busca satisfacer las necesidades de la actual generación, y a la vez encontrar mecanismos para no comprometer las posibilidades futuras. *(Ochoa, 1997)*

Hablar de economía urbana lleva necesariamente a incorporar en los análisis la presencia de rendimientos crecientes de escala, costos de transacción y transporte, asimetría o ausencia de información, bienes públicos, externalidades y deficiencias o ausencia de definición de derechos de propiedad. Todos estos elementos son precursores de las fallas de mercado y representan la justificación para la intervención de los gobiernos locales en la economía de las ciudades. *(Ochoa, 1997)*

El reto, entonces, es crear instrumentos y mecanismos para que el crecimiento de las ciudades se dé sobre una base sustentable representa hoy la principal preocupación de quienes creen que un mundo urbano no necesariamente significa lo peor. En el debate por la sustentabilidad, la Ciudad de México es testigo y protagonista, y ha sido considerada en muchas ocasiones como una ciudad que ha estado permanentemente al borde del colapso.

El crecimiento de la mancha urbana de la Ciudad de México ha trascendido los límites del Distrito Federal incorporando a diversos municipios del Estado de México. En 1995, la concentración demográfica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), conformada por las 16 delegaciones políticas del Distrito Federal y 28 municipios conurbados, tiene una población superior a los 16 millones de habitantes (la población del DF era de 8'489,007 habitantes y la de los 28 municipios conurbados del Estado de México que conforman la denominada ZMCM, era de 8'185,153 habitantes). Esto ha generado una serie de desequilibrios ecológicos que hasta hace menos de una década parecían imposibles de salvar.

Sin embargo, lo impráctico de la Ciudad de México se presenta hoy como la oportunidad de resolver los problemas inherentes a

toda aglomeración urbana mediante la introducción de la vida económica de la ciudad de nuevas tecnologías -de organización, de transporte, de producción, entre otras- y bienes y servicios. Esta alternativa de solución de los problemas generará finalmente un crecimiento económico congruente con la preservación del medio ambiente. *(Ochoa, 1997)*

El papel de los instrumentos económicos: prácticas de conservación y reciclaje.

Si asumimos que los problemas urbanos -entre ellos los daños ambientales y sus efectos sobre la salud, la productividad de la economía y el nivel de satisfacción por los servicios prestados a la población- son un ejemplo de fallas de mercado; la intervención del gobierno puede inclinarse por cualquiera de los siguientes instrumentos o combinación de ellos:

- La más obvia para acabar con la contaminación es intervenir mediante instrumentos de comando y control que prohíban actividades contaminantes u obliguen a los agentes a reducir los niveles de contaminación sobre la base de ciertos límites.
- Incorporar instrumentos que eliminen distorsiones de mercado y provean las señales necesarias para hacer posible el desarrollo sustentable, al indicar el grado de escasez de cierto bien de la sociedad.

Algunas de las ventajas de este tipo de instrumentos son: transferir de las instituciones de gobierno al mercado la responsabilidad de identificar nuevas fuentes de control de la contaminación de bajo costo; separar la pregunta de qué tipo de control introducir por la de quién paga por la contaminación; incrementar los ingresos del gobierno y la posibilidad de utilizarlos para el financiamiento de bienes públicos que mejoren la calidad del medio ambiente; imponer mayor flexibilidad que permita detectar los cambios en las formas de producir y las

modificaciones de las valoraciones del mercado sobre ciertos bienes. *(Ochoa, 1997)*

La teoría económica sugiere que los instrumentos de mercado pueden ofrecer un mayor número de formas eficientes para resolver el problema y mediante las siguientes premisas:

- La contaminación se genera porque los precios de los bienes y servicios no reflejan el costo de la degradación ambiental. El objetivo sería entonces que los individuos y empresas de donde surgen, enfrentaran el verdadero costo de contaminar.
- Muchos recursos naturales se cobran por debajo de su costo marginal privado. El efecto de esta solución es que los recursos son demandados en cantidades superiores a las que se observarían si se adoptara el verdadero costo marginal. El efecto final es una distorsión de mercado que se traduce en pérdidas de bienestar para la sociedad. *(Ochoa, 1997)*

El caso del agua en el Distrito Federal

Hasta 1991, la administración del agua en el Distrito Federal siguió un enfoque de oferta, al tratar de satisfacer, sin considerar los costos financieros y ecológicos, la demanda derivada de una cada vez mayor concentración poblacional. Los resultados en términos de cobertura fueron exitosos, al lograr incorporar al servicio de agua a través de tomas domiciliarias al 96% de las familias. Sin embargo, la administración de la recaudación por concepto de este servicio se descuidó, y las tarifas reflejaron un comportamiento errático, sobre todo durante la década de los ochenta, y la administración del servicio de agua potable y alcantarillado se encontraba fragmentada entre varias dependencias, imposibilitando un manejo integral tanto del sistema hidráulico, como de las finanzas del servicio. *(Ochoa, 1997)*

Esta forma de administrar el recurso trajo consigo desequilibrios ecológicos y financieros que impedían sentar las bases de un manejo sustentable del agua.

El abasto diario de agua por habitante en la ciudad, es, para todos los usos, de 360 litros diarios, mientras que el consumo per cápita de ciudades europeas es de aproximadamente 200 litros diarios. La trayectoria de explotación del acuífero a las tasas que requería el ritmo de crecimiento de la población provocaron la sobreexplotación del manto, al grado de correr el riesgo de su agotamiento. Asimismo, la combinación de la sobreexplotación del acuífero y las características físicas del suelo aceleraron los hundimientos diferenciales no uniformes en diversas regiones de la entidad, que generaban costos colaterales muy elevados al dañar monumentos históricos, edificaciones diversas, y redes de agua potable y alcantarillado.

En materia financiera, los cada vez mayores requerimientos de inversión imponían sobre la hacienda pública presiones y una pérdida de capacidad de respuesta a las demandas de ampliación de infraestructura y prestación del servicio; además no existían recursos suficientes para el adecuado mantenimiento de las redes, no existía una correspondencia entre los derechos cobrados por el servicio de agua y el costo inherente al servicio; el fenómeno inflacionario había deteriorado las tarifas del agua, se cobraba a la mayoría de los usuarios por cuota fija por métodos que subestimaban el consumo, y existía una infraestructura de fiscalización deficiente que se traducía en un bajo cumplimiento de pago por parte de los usuarios. Los hundimientos ocasionados por la sobreexplotación de los mantos acuíferos, la antigüedad de una alta proporción de las redes y la ausencia de un mantenimiento adecuado, provocaron que el índice de pérdidas por fugas en la red se incrementara año con año.

Institucionalmente, las funciones de instalación de tomas y medidores y de recaudación estaban fragmentadas entre varias dependencias, lo que se reflejaba en las deficiencias del

padrón y de las medidas de revisión del cumplimiento del pago del servicio por parte de los usuarios. A la mayoría de las familias se les cobraba por el sistema de cuotas fijas porque la planta de medidores era imprecisa y no había sido mantenida adecuadamente. Por eso, un mal sistema de recaudación elimina los incentivos económicos al ahorro de agua.

A partir de 1992 se inició el cambio estructural del agua y para enfrentar la problemática en materia de agua del Distrito Federal era necesario instrumentar medidas que eliminaran la dispersión y duplicidad de funciones en su manejo y establecer las bases para alcanzar en el mediano plazo el equilibrio financiero del sector. Así que se creó la Comisión de Aguas del Distrito Federal, como órgano desconcentrado del Departamento del Distrito Federal, se consideró conveniente la participación de la iniciativa privada que permitiría la transferencia y adopción de las mejores tecnologías, prácticas disponibles en distribución de agua y rehabilitación de redes, así como la incorporación de incentivos económicos conducentes a un mayor ahorro del recurso en los procesos de distribución y rehabilitación.

Por razones de carácter estratégico se decidió conformar cuatro zonas de servicio para el Distrito Federal. Esto se justifica debido a que las industrias con rendimientos crecientes, como el caso del agua, no se comportan competitivamente, por lo tanto era necesario crear una "amenaza de entrada" mediante la división de la participación privada en regiones para inducir un caso especial de "Mercado Contestable", en donde cada empresa se convierte en un competidor potencial en caso de que cualquiera de ellas falle.

Para evitar los problemas de información asimétrica se decidió llevar a cabo un proceso por etapas:

- El desarrollo de la infraestructura de medición a través de la actualización del padrón y la instalación de medidores.

- La emisión y distribución de boletas, recaudación de los derechos por el suministro de agua, atención a la ciudadanía y el mantenimiento de toda la infraestructura de micromedición, la operación del sistema comercial y finalmente,
- La operación, el mantenimiento y la rehabilitación de la red de distribución.

En la etapa final se entregará agua en bloque al contratista a cambio de un precio por metro cúbico, haciendo a su vez el contratista la distribución del agua al menudeo a las tarifas autorizadas. (Ochoa, 1997)

Una nueva estructura tarifaria.

En 1997 se estableció una nueva estructura tarifaria para los derechos por servicios de agua que brinda beneficios y reducciones en el pago del derechos para más de 850 mil contribuyentes que consumen entre 30 y 90 metros cúbicos al bimestre. A pesar de que la anterior tarifa para el cobro del agua estaba regida por el principio de que "pague más el que más consume", el derecho aumentaba más que proporcionalmente respecto al consumo y esto originaba que los contribuyentes percibieran los cobros como poco justos. Con esta modificación se logró incrementar la proporcionalidad del derecho y reforzar una mayor relación progresiva y continua entre el consumo medido y el pago del servicio. Ver la tabla 12

tabla 12
Progresividad en la tarifa de agua. Cuota bimestral (pesos)

Consumo en metros cúbicos	Doméstico	No doméstico
10	10	-
20	20	-
30	30	120
60	102	298
120	440	814
240	1,441	2,171

Fuente: Economía Ambiental, Lecciones de América Latina, "La agenda ambiental de la economía urbana e industrial, los instrumentos económicos de la gestión ambiental", Otoniel Ochoa, Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. 1997

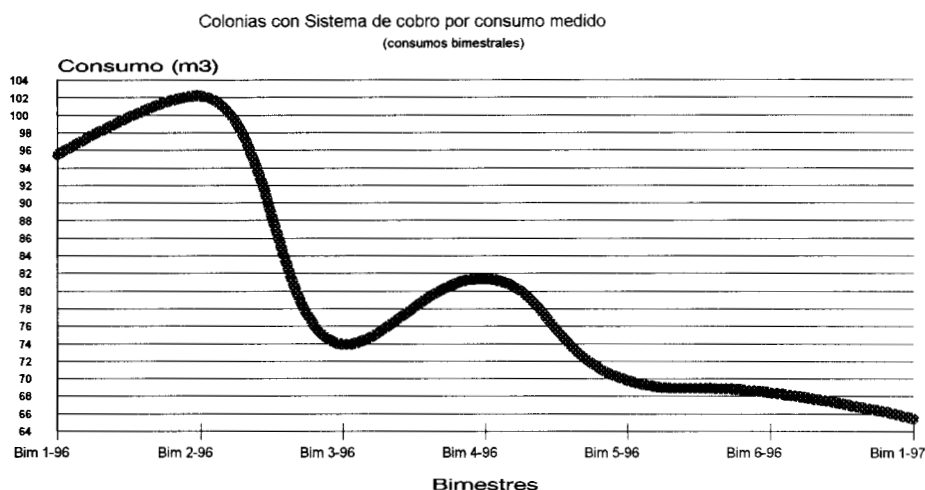
Por ejemplo, si en 1996 una familia consumía 30 m³ (30 mil litros) en un bimestre debía pagar 30 pesos, mientras que una familia que consumiera 31 m³, pagaba 71 pesos, es decir que el m³ adicional de consumo originaba una diferencia en el pago de 41 pesos. A partir de 1997, los aumentos en el monto a pagar son proporcionales al aumento en el consumo, de tal suerte que una familia que consume 30 m³ al bimestre, debe pagar 30 pesos y si en algún bimestre consumiera 31m³ pagaría 32 pesos. Sólo dos pesos más en lugar de los 41 que aumentaba en la tarifa anterior.

Para instrumentar el programa comercial del agua se decidió iniciar en zonas de altos ingresos e ir avanzando lentamente hacia aquellas en donde el ingreso de las familias es menor. La crisis económica de 1995 retrasó la instrumentación y hasta 1996 fue posible iniciar con la emisión de las primeras cuentas bajo el sistema de cobro por consumo medido.

Los programas de verificación del cumplimiento de las obligaciones han permitido que se incremente el número de pagos promedio al bimestre, de 500 mil en 1992 a cerca de un millón en 1997. En facturación, actualmente se emiten 776 mil 746 boletas por consumo medido que representan el 51% de la emisión total; 12% se emite por consumo promedio y 37% aún se factura por el sistema de cuota fija.

Así, el programa comercial del agua ha permitido que el consumo por habitante disminuyera de 364 litros al día en 1991 a 355 litros/habitante/día en 1996. Entre el primer bimestre de 1996 y el segundo de 1997, el consumo de las colonias en donde el agua se paga conforme al sistema medido, se redujo 31%. Ver figura 13

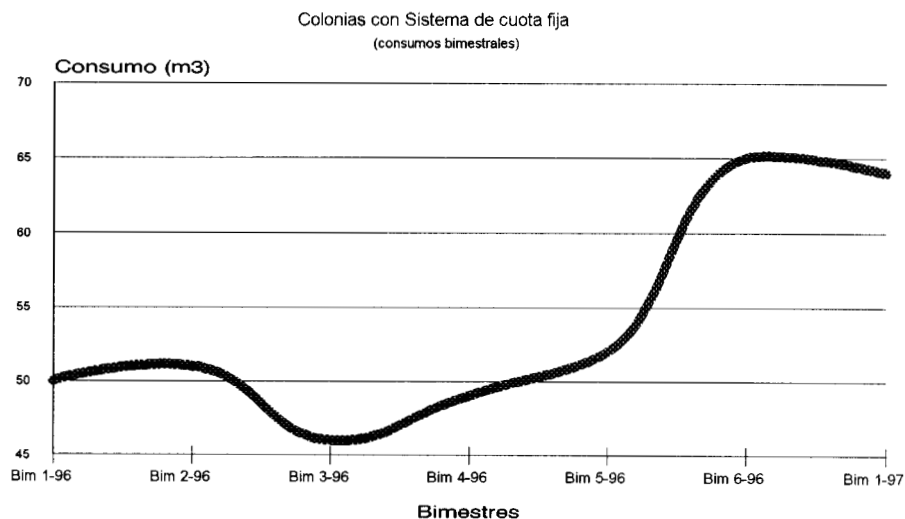
Figura 13



Fuente: Comisión de Aguas del Distrito Federal. *Economía Ambiental, Lecciones de América Latina, "La agenda ambiental de la economía urbana e industrial, los instrumentos económicos de la gestión ambiental"*, Otoniel Ochoa, Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP, 1997

Asimismo, las colonias que se mantienen bajo el esquema de cuota fija han registrado incrementos de 28% en sus consumos de agua. Ver figura 14

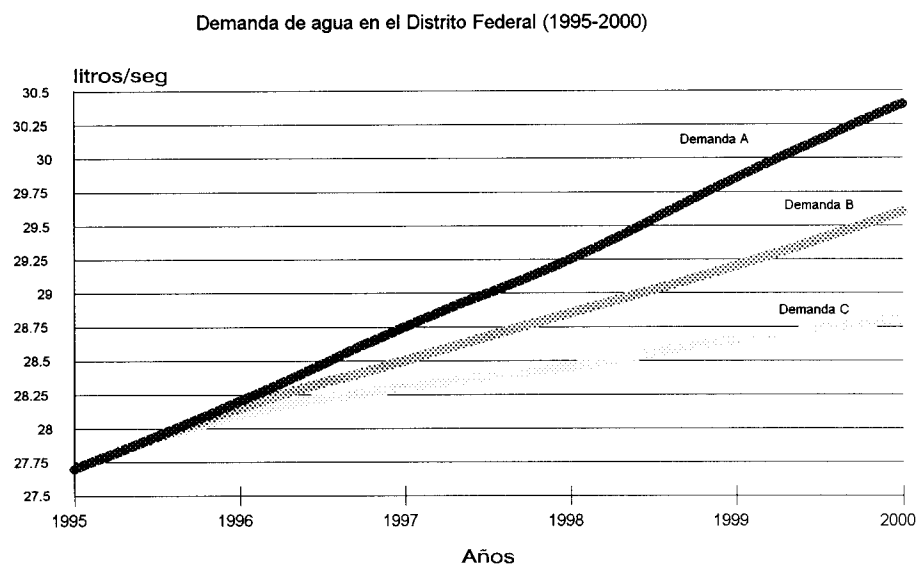
Figura 14



Fuente: Comisión de Aguas del Distrito Federal. *Economía Ambiental, Lecciones de América Latina, "La agenda ambiental de la economía urbana e industrial, los instrumentos económicos de la gestión ambiental"*, Otoniel Ochoa, Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP, 1997

En la siguiente gráfica se muestra la tendencia esperada de la demanda bajo tres escenarios: el primero considera la situación sin programa comercial del agua; el segundo incorpora un avance del 50% del programa comercial y el tercer escenario incluye el 100% de avance del programa comercial del agua. Ver figura 15

Figura 15



Fuente: Comisión de Aguas del Distrito Federal. *Economía Ambiental, Lecciones de América Latina, "La agenda ambiental de la economía urbana e industrial, los instrumentos económicos de la gestión ambiental"*, Otoniel Ochoa, Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP

Nota: En ninguno de los escenarios se contabilizan las pérdidas por fugas, Demanda A, estimada sin programa comercial del agua. Demanda B, considera el programa comercial del agua al 50% de avance. Demanda C, considera el programa comercial del agua a un 100% de avance.

Por lo tanto, hacia el fin del milenio, la introducción de los instrumentos económicos en la agenda ambiental de la economía urbana nos plantea grandes retos y oportunidades. El caso del agua en el Distrito Federal es una muestra de que sí se puede llevar a la práctica lo que teóricamente es generalmente aceptado, pero se requiere de tiempo para su introducción, un buen diseño del instrumento y el soporte institucional y tecnológico. Adicionalmente, el caso del agua nos permite proponer que en la agenda se incluyan esquemas de participación privada en proyectos rentables desde el punto de vista ambiental, mejoras en el marco regulatorio para reducir

costos de transacción y seguridad jurídica a los agentes privados, tecnologías más limpias en el transporte y la producción, y proyectos gubernamentales de rescate ecológico que permitan avanzar en el futuro hacia un desarrollo sustentable y mantener a las ciudades como generadoras de la riqueza del país. *(Ochoa, 1997)*

EL PROYECTO LAGO DE TEXCOCO, RESCATE HIDROECOLÓGICO

ANTECEDENTES

A la llegada de los españoles, gran parte del valle de México era una región lacustre, cuyo recipiente mayor era el lago de aguas saladas de Texcoco, ubicado en su parte central y más baja. La ciudad de Tenochtitlán se hallaba en la laguna de agua dulce, separada de la salada por un albarradón construido por Netzahualcoyotl en la época de Moctezuma Ilhuicamina. Ambas "ciudad y laguna" se encontraban en un punto del lago de Texcoco.

Al norte y niveles más altos, estaban los lagos de Xaltocan y Zumpango. Al sur y separado por el dique de Mexicaltzingo, estaba el lago de Xochimilco, a su vez separado del de Chalco por el dique de Cuitlahuac. Estos lagos eran más altos que las lagunas de México y Texcoco y de agua dulce, por lo que desaguaban sobre estas últimas a través de las compuertas del dique.

La laguna de México poseía a su vez diques-calzadas: Tepeyac, hacia el sur, que se bifurcaba en el fuerte de Xólotl, con un ramal en dirección de Coyohuacan y el otro de Mexicaltzingo e Iztapalapan. Mediante estas albarradas se controlaban las aguas que llenaban las acequias navegables que cruzaban la ciudad.

El lago de Texcoco era el lugar, a partir del cual el terreno ascendía hacia los cuatro puntos cardinales, por lo que todas las aguas llovedizas o provenientes de ríos y manantiales concurrían necesariamente hacia este vaso. Por su parte en el lago de Chalco desaguaban los ríos Tenango, Tlalmanalco y arroyo de San José, que eran alimentados por muchos arroyos que descendían de los cerros Tecama y papayo y de los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatépetl.

Los ríos y los arroyos que alimentaban el lago de Texcoco nacían en las tierras Tlálloc y Telapón; y eran los de Coatepec, Santa Mónica, San Bernardino, Chapingo, Texcoco, Magdalena, Papalotla, Coxcacaco y Teotihuacán; por el sureste bajaban los ríos de San Francisco y San Rafael.

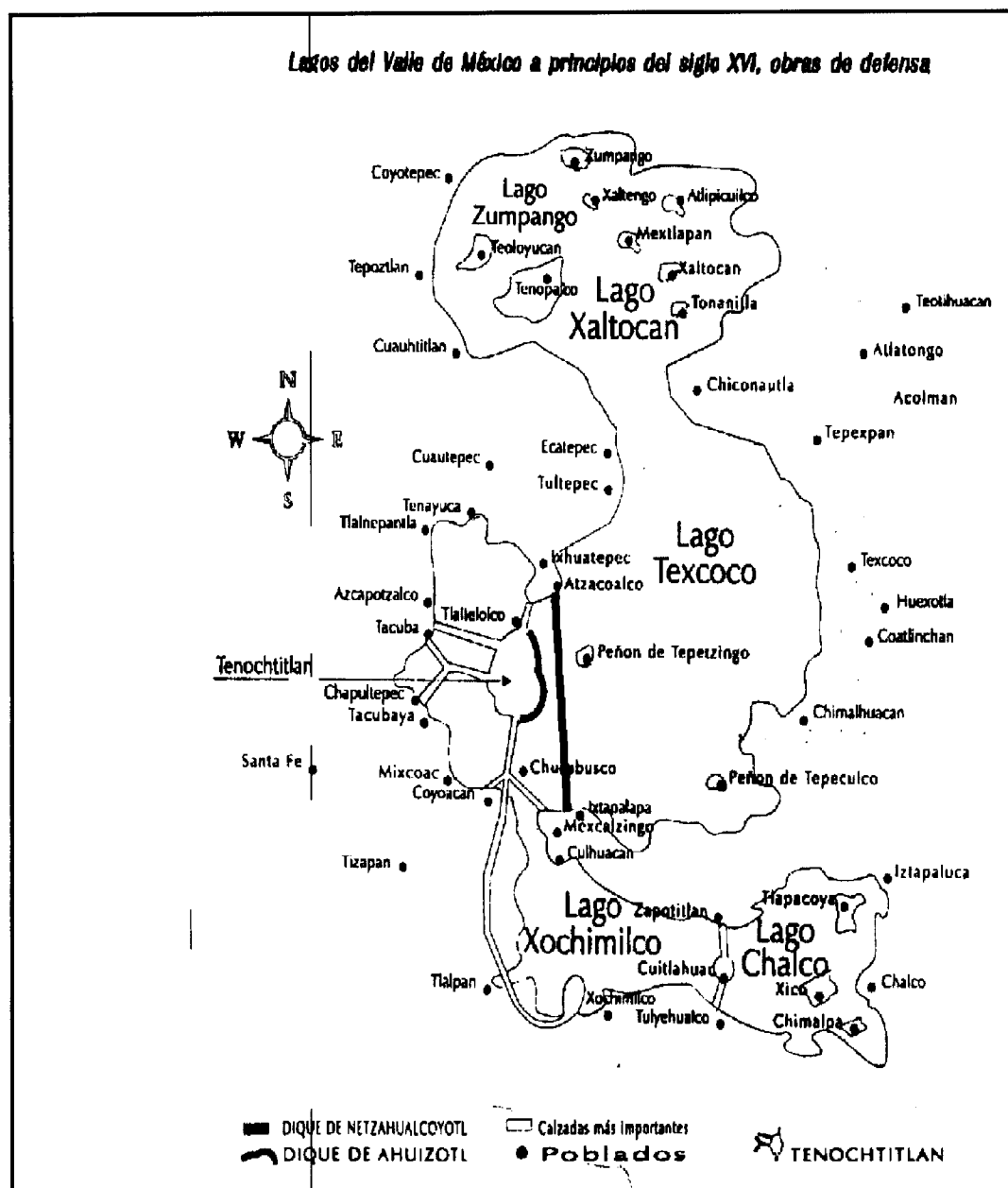
Al norte de las sierras mencionadas existe una sucesión de lomas que se unen con la sierra de Pachuca, donde tiene su origen el río Papalote, de cuyo torrente se formaba la laguna de Apan. El Papalote corría por un lomerío hasta llegar al cerro gordo que dividía la vertiente: por el este, seguía el río Teotihuacán, que desembocaba en el lago de Texcoco. El Papalote, al final de su trayecto, se convertía en el río de las avenidas de Pachuca y desaguaba en la laguna de Zumpango.

La vía hidráulica con mayor caudal era el río Cuautitlan, que nacía en las estribaciones de la serranía del poniente, y tenía como afluentes los ríos Tepozotlán, Guadalupe y el río grande. Este río alimentaba en la antigüedad, parte de la laguna de Zumpango, conocida como Coyotepec, la que a su vez estaba separada por el dique de la cruz del rey, de la del Citlaltepétl.

Por el poniente, el lago de Texcoco recibía las aguas del río Guadalupe, que se formaba del río los remedios y del Tlalnepantla.

En la cordillera del ajusco nacía el río de San Juan de dios que terminaba en el lago de Xochimilco. También en el ajusco brotaba el San buenaventura, alimentado por infinidad de manantiales y que desaguaba en el lago de Xochimilco. En la figura 16 se puede ver como lucían los lagos del Valle de México a principios del siglo XVI.

Figura 16



Fuente: Proyecto Lago de Texcoco, Rescate Hidroecológico, Gerardo Cruickshank García, 1995

Las Inundaciones.

Además de los ríos, existía un número de manantiales que alimentaban a los lagos del valle. Algunos eran tan importantes como los de Xochimilco, Tlalpan, Coyohuacan, Culhuacan, Churubusco, Iztapalapan, Chapultepec, Ayotzingo, etcétera.

De todos los ríos del valle, el más caudaloso y peligroso para la ciudad de México era el Cuautitlán, que conforme Humboldt, tenía un caudal superior al de todos los demás juntos. Este – como se dijo- desaguaba en el recipiente del Coyotepec, fracción del Zumpango, mientras que en la otra fracción, es decir, la de Citlaltepec, desembocaba el río de las Avenidas de Pachuca.

Las aguas de ambos cauces hacían que la laguna de Zumpango se derramara en la de Xaltocan (que después fué la de San Cristóbal) y ésta en la de Texcoco, la que al subir de nivel provocaba las inundaciones de la Ciudad de México. Podría decirse que éste era el proceso en las inundaciones urbanas.

Los lagos de agua dulce del sur, Xochimilco y Chalco, nunca representaron un peligro inminente para la capital.

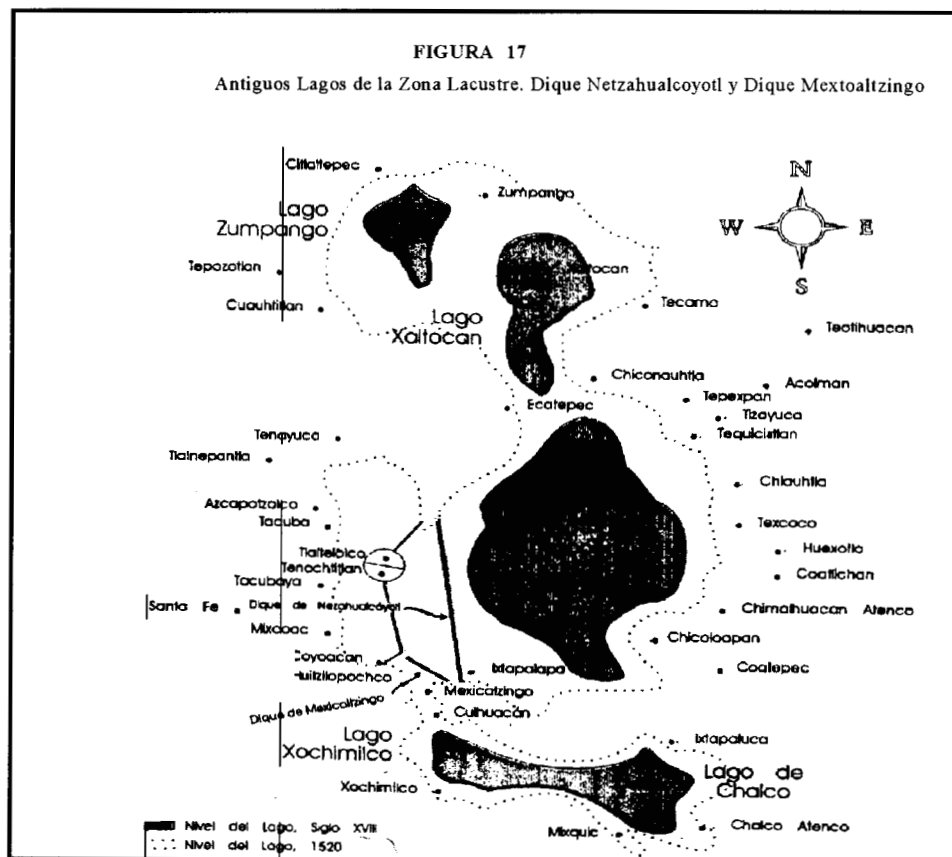
A fin de comprender mejor el por qué de las inundaciones que afectaron a la ciudad, se incluyen las alturas de los lagos en 1864, calculadas en varas, que pueden representar una sucesión de escarpas, sobre el nivel del lago de Texcoco, lo mismo hacia el norte que hacia el sur:

Lago de Zumpango	6.062 m
lago de Xaltocan	3.474 m
lago de San Cristóbal	3.597 m
lago de Texcoco	0.000 m
Ciudad de México	1.907 m
lago de Xochimilco	3.119 m
lago de Chalco	3.082 m

La extensión de los lagos y de la zona lacustre variaba de acuerdo con al época del año y los ciclos de abundancia o sequía. Según datos históricos, el área de la zona lacustre era de cerca de 2,000 km cuadrados, de los cuales el lago de Texcoco, el más grande de ellos, ocupaba el 50% del área total, aproximadamente.

Años antes de la presencia española, Tenochtitlán había sufrido varias inundaciones, la más importante en 1449, con Moctezuma Ilhuicamina, quien solicitó a Netzahualcóyotl, señor de Texcoco, su asesoría para resolver el problema. Netzahualcóyotl construyó un dique, conocido como albarradón de Atzacualco a Iztapalapa, con el cual se evitaba que las crecientes del lago de Texcoco inundaran la capital azteca. Este dique se construyó con empalizadas de troncos y emplatamientos, apuntalados y revestidos con barro para impermeabilizarlo; se instalaron compuertas que permitían el paso entre los lagos, con el objeto de evitar la contaminación del agua dulce con la salada. Posteriormente se levantó otro albarradón, llamado de Ahuízotl o San Lázaro, que prácticamente circundaba la ciudad.

Con esos diques, calzadas y albarradones, la laguna de México quedó dividida en sectores que operaban como vasos comunicantes para regular las avenidas y controlar la calidad de las aguas. Ver figura 17



Fuente: Proyecto Lago de Texcoco, Rescate Hidroecológico, Gerardo Cruickshank García, 1995

Las obras de desagüe.

Como se mencionó, en la época prehispánica se registró una serie de inundaciones; una en 1498, durante el gobierno de Ahuizotl y otra en 1449.

A partir de 1499 transcurrieron más de 50 años sin problemas de esta naturaleza, hasta que en septiembre de 1555, una fuerte precipitación que duró más de 24 horas, causó severas inundaciones e innumerables destrozos en las casas habitación en grandes zonas de la ciudad.

Esta inundación obligó al gobierno virreinal a realizar la reparación de diques y calzadas a semejanza de los prehispánicos, con el mismo sistema que se siguió para el albarradón de San Lázaro, a imitación del de Netzahualcóyotl en el que se había dejado destruir, utilizando sus materiales en otras obras.

El español Francisco Gudiel propuso un desagüe general y aplicar las aguas para regadío y navegación, sin embargo, no se desarrolló ninguna obra; 21 años después, en 1586, se presentó otra gran inundación, esta vez se hicieron trabajos pero sólo en las albarradas, se nivelaron calzadas y desazolvieron ríos y canales. Lo curioso es que 24 años más tarde, en 1604, se registró otra gran inundación en la ciudad, tras la que se volvieron a reforzar calzadas y albarradones, principalmente las de Tepeyac a Guadalupe, el de San Cristóbal y la de Texcoco.

En 1607, al hacerse cargo del gobierno de la nueva España el virrey Luis de Velasco, nuevamente se vio la ciudad amenazada por las lluvias e inundaciones. Ante eso, ordenó una reunión de notables y de los mejores técnicos disponibles para que buscaran solución al desagüe general del valle; en ella se aprobó la idea de Enrico Martínez de construir una acequia y un socavón que condujeran los sobrantes de las lagunas de Citlaltépetl y Zumpango hasta el río Tula. Las excavaciones concluyeron en

1608, pero las obras complementarias quedaron inconclusas, produciéndose numerosos derrumbes que obstruyeron el desagüe.

Se tomó la decisión de hacer todo el desagüe en tajo a cielo abierto, iniciando los trabajos en agosto de 1637, pero debido a la limitación de recursos estos se realizaron por tramos, terminando las obras en 1788.

En la época independiente se llevaron a cabo diversos estudios y trabajos. En 1857, el ing. Francisco de Garay realizó el proyecto más completo de las obras del desagüe general; consistía principalmente en la construcción de un gran canal que arrancaba desde la orilla occidental del lago de Texcoco hasta el túnel de Tequixquiac. Las obras fueron realizadas durante la república restaurada por Benito Juárez y se concluyeron durante el porfiriato, en 1900. Las obras estuvieron a cargo del Ing. Luis Espinosa.

Simultáneamente, el Ing. Roberto Gayol proyectó y estudió una red de alcantarillado, mediante colectores y atarjeas que permitieran el drenaje combinado de aguas negras y pluviales de la ciudad.

Hasta 1940, por los hundimientos del subsuelo, la ciudad empezó a sufrir inundaciones cada vez más graves.

Problemática

El lago de Texcoco ha sido desde siempre el cuerpo de agua más importante del Valle de México, siendo una parte importante del sistema y funcionamiento hidrológico de la cuenca. Como tal, al desecarse, dio lugar a una serie de tensiones ambientales que desembocaron en un serio deterioro ecológico, como son la desertificación de los terrenos ocupados y circundantes y la creación de un foco de insalubridad que llegó a representar un grave peligro para la salud de la

población del área metropolitana de la Ciudad de México y de los municipios conurbados del Estado de México.

Por eso en 1971, durante la administración del Lic. Luis Echeverría Álvarez, la Secretaría de Recursos Hidráulicos se dio a la tarea de realizar un concienzudo estudio sobre las condiciones hidrológicas y ecológicas del lago. Tras de analizar sus antecedentes se formuló el *Plan Texcoco* en el que se estableció una serie de programas, acciones, proyectos y obras de rescate para salvar esta región. Al desaparecer esa dependencia, el plan fue continuado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, hoy Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), quedando finalmente a cargo de la Comisión Nacional del Agua, organismo desconcentrado de dicha Secretaría.

Los efectos de desertificación a los que se enfrentan los diferentes ecosistemas, son secuela del pésimo manejo y mal aprovechamiento de los recursos naturales, adquiriendo día a día una importancia vital, ya que sus consecuencias son tan negativas que pueden poner en peligro la vida de todas las especies.

La erosión de los suelos afecta al patrimonio productivo por excelencia y por tanto, pone en peligro la sobrevivencia del hombre. Los factores que la originan son principalmente culturales y socioeconómicos, e inciden con mayor frecuencia en los niveles medios y altos de las cuencas. Entre estos factores destacan: la tala indiscriminada y deforestación, cambio de uso del suelo, empleo de técnicas agrícolas inadecuadas en áreas de temporal con pendiente, sobrepastoreo, incendios, plagas y enfermedades de las especies vegetales, factores que a su vez conducen a otros problemas, como desbordamientos e inundaciones, azolve de cauces, lagos y presas, disminución de la recarga de los mantos acuíferos, degradación de los ecosistemas y alteraciones climáticas, así como la contaminación de las corrientes superficiales y de los cuerpos de agua.

El problema de la desertificación a nivel mundial y en especial el de la erosión hídrica, es uno de los retos más difíciles a los que se enfrenta la humanidad, principalmente porque:

- El avance de la desertificación no se ha detenido.
- En proporción son insuficientes las medidas que configuran la solución, resultando menores que los factores que producen su avance.
- El tiempo de respuesta es cada vez más corto.
- El elevado costo de las acciones para contrarrestar el deterioro aumenta año con año, la extensión de las áreas afectadas es cada vez mayor, los daños son crecientes y aumentan en forma exponencial.
- Si estos procesos no se detienen en un futuro próximo, la escasez de agua y de alimentos en el mundo aumentará sensiblemente en pocos decenios.
- La probabilidad de que estos hechos ocasionen perturbaciones sociales es cada vez más elevada.

Asimismo, es conveniente recordar que la planeación de la economía y la ecología son disciplinas de importancia capital para la resolución de este problema; la implantación a nivel global, sectorial, regional y nacional, de un programa económico y de preservación ecológica como sistema permanente de trabajo y, el riguroso cumplimiento de sus normas, son premisas básicas para consolidar un desarrollo consistente y sostenido.

Existen grandes limitaciones económicas para contrarrestar estos problemas, que únicamente podrán resolverse con un manejo integral de las cuencas; esto es, considerar a la cuenca como una unidad hidrológica regional para el aprovechamiento racional de sus recursos naturales. Además, se debe tener presente que estos proyectos son a largo plazo, sólo así se podrán alcanzar los beneficios; de ahí la concientización de la sociedad, especialmente en zonas donde los procesos de

degradación y pérdida de los recursos naturales pueden llegar a ser irreversibles.

Los problemas que actualmente inciden en el Valle de México son el resultado de la dramática y empecinada destrucción de la ecología regional y de sus recursos naturales. Esta situación se puede resumir de la siguiente forma:

- La explosión demográfica y la expansión de la marcha urbano-industrial rebasa ya cualquier límite razonable de tamaño para un control ordenado y equilibrado de su desarrollo.
- La descripción provocada por la deforestación, denudación y erosión de los suelos; la desaparición de áreas verdes y lagos; la deshidratación de los acuíferos y la ruptura de la estructura del subsuelo provocando hundimientos, agrietamientos y fallas que desarticulan todas las obras y servicios urbanos, con la consecuente afectación de la estabilidad de cualquier tipo de edificación.
- El comportamiento irregular de la hidrología, manifestado por la torrencialidad de las corrientes, su poder erosivo y los picos de sus avenidas cada vez más pronunciados, provoca inundaciones en algunas zonas del área metropolitana en forma constante.
- La ruptura del equilibrio de los ecosistemas que integran la cuenca, se refleja en una grave y creciente infición de la biósfera, en suelos, agua y aire, con serias consecuencias para la salud y la vida de los seres que habitan la región.

Ante esa grave situación, el Proyecto Lago de Texcoco se constituye como una verdadera opción y un ejemplo a seguir en la búsqueda en el mediano y largo plazo de soluciones que permitan rescatar y preservar los recursos y el medio ambiente.

Debido a la amplitud y diversidad de acciones y obras que implica el Proyecto Lago de Texcoco, fue indispensable dividir el programa en tres etapas:

- I. En la primera se consideraron y llevaron a cabo obra urgentes de infraestructura hidráulica y de cobertura vegetal, que eliminarían la degradación ambiental y los efectos ostensiblemente peligrosos para la salud de los habitantes de la zona conurbada, como las "tolvaneras", tormentas de polvo y detritus con agentes patógenos, que durante los primeros meses de cada año azotaban y cubrían totalmente el conglomerado urbano, haciendo a los habitantes víctimas de enfermedades oculares, respiratorias y digestivas.

Como la superficie del ex lago es cruzada por dos grandes cauces de desagüe, el río de la Compañía y el río Churubusco, era necesario su encauzamiento, control y regulación para evitar inundaciones en diversas áreas del Valle y en la Ciudad de México. Además, el lago al recibir la afluencia de once ríos de la vertiente montañosa del oriente, hizo necesario hacer obras de control a fin de evitar inundaciones en numerosos pueblos y tierras de cultivo de la cuenca. Los trabajos de conservación de agua y suelo, incluidos en el manejo de la cuenca, se deben continuar para regular el funcionamiento hidrológico de la misma.

Desde un principio se fijó como objeto la restauración ecológica del área degradada y, convertirla en un gran pulmón para toda la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

- II. La segunda etapa estriba fundamentalmente en reforzar y consolidar el objeto de la primera fase, a través de desarrollar en toda la superficie disponible de la zona federal del ex lago, una amplia área boscosa con parques de venados, criaderos de caballos, actividad

piscícola, parques recreativos familiares, deportes acuáticos y atletismo. Esta etapa comprende la terminación de la autopista de cuota Peñón-Texcoco con todas sus estructuras y obras complementarias, incluyendo las de mitigación ambiental, así como las del arco norte del periférico de la Ciudad de México, que junto con el camino Peñón-Texcoco mejorarán de manera notable las comunicaciones del proyecto y de toda la región circundante.

Se proseguirán las obras de riego de San Bernardino y otras que incrementen el intercambio de agua tratada por la potable que se bombea del acuífero y se utiliza en el riego agrícola.

III. La última etapa la constituyen la operación, conservación y seguimiento de los trabajos relacionados con el manejo de la cuenca montañosa, lagos, canales, plantas de tratamiento y caminos construidos.

La problemática se podría concretar de la siguiente forma:

- El crecimiento acelerado de la población en la zona metropolitana supera ya los 17 millones de habitantes, con un incremento incontrolado en la demanda de servicios, como abastecimiento de agua, servicios de desagüe y drenaje.
- La expansión de la mancha urbana rebasa los 2,000 km cuadrados de asfalto y concreto, que invade cada vez más tanto áreas boscosas de la montaña, como de cultivo; aumenta la torrencialidad de las corrientes con picos de avenidas más pronunciados; al mismo tiempo reduce el área de recarga natural de los acuíferos del subsuelo e incrementa el peligro de más inundaciones.

- La desertificación de la cuenca del Valle de México provocada por la devastación de los bosques, erosión de los suelos y abatimiento de los acuíferos, causada a su vez por la sobreexplotación de casi 5,000 pozos existentes en la región.
- Los hundimientos del subsuelo de la Ciudad y del Valle de México, en las zonas de relleno, ocupadas por los lagos que se desecaron, han sido provocados principalmente por la sobreexplotación de los acuíferos, que al reducir la presión hidrostática de los estratos arcillosos, origina la consolidación de estas arcillas y el asentamiento del terreno.
- El rompimiento del equilibrio hidrológico de la cuenca, la desaparición de lagos y bosques, la torrencialidad de las corrientes, con avenidas de picos más pronunciados y peligrosos, siguen causando inundaciones a pesar de las costosas obras del desagüe profundo.
- Como consecuencia de todo lo anterior se originaron las tolvaneras que asolaban a la zona metropolitana, se alteró el equilibrio del ecosistema del ex lago de Texcoco y su cuenca tributaria, lo que causó la infición del ambiente afectando la salud y la vida de los habitantes de la región.

Estudios y Planeación.

Las tareas de la planeación no se pueden abordar únicamente desde los estrechos niveles de la ciencia, sino emprenderse con una mirada inquisitiva y amplia que permita captar la extensión del ámbito ecológico en donde han tenido lugar los fenómenos y las acciones a modificar, además de la voluntad indeclinable de conocer a fondo las causas reales de los problemas, las áreas donde se generan y los efectos que las determinan.

El agua define los aspectos más importantes de la supervivencia humana; cuando se trata de una cuenca como la del lago de Texcoco, la conservación, control, uso del agua y el suelo adquieren una inmediata relevancia humana.] conviene recordar que casi el 70% de los problemas de salud se derivan de la contaminación que se presenta en este recurso natural.el agua, unas veces por escasez, otras por exceso, ha sido una de las principales preocupaciones de la mayoría de los pueblos y civilizaciones.

En vista de que la superficie donde se desarrolla el plan de rescate hidroecológico del ex lago de Texcoco, con los proyectos y obras que lo integran, está rodeada por el área conurbada de la zona metropolitana, el impacto ambiental de las obras y acciones que se realizan afectan necesariamente a la población de la zona, por ello, el análisis de los aspectos sociales y económicos se han hecho con base en la información publicada por el inegi (censos 1990).

Es necesario establecer claramente cuáles son los beneficios que el proyecto proporciona al conglomerado social que vive y se desarrolla en su zona de influencia, así como las modificaciones a los recursos naturales y al medio en su área de acción.

A continuación se enumeran estos servicios y cambios:

1. Ha contribuido a reducir el peligro de inundaciones en las grandes áreas de la Ciudad de México, municipios conurbados del Estado de México.

En el supuesto caso de no existir el Proyecto Lago de Texcoco, las áreas afectadas por las descargas sin control de los ríos Churubusco, de la Compañía, de los Remedios y de los ríos del Oriente podrían ser:

- A) Cd. Netzahualcóyotl y su zona iv.

B) zona v del ex vaso de Texcoco del municipio de Ecatepec.

C) el aeropuerto internacional de la Cd. De México.

D) llas comunidades y sementeras de los municipios de Ecatepec, Atenco, Texcoco, Chimalhuacán, Chicoloapan, Ixtapalucan, los Reyes la Paz y Chalco.

2.-En la zona del ex lago, en los primeros meses del año los vientos alisios del noreste generaban grandes tormentas de polvo y detritus (las famosas tolvánicas) que se abatían sobre el área metropolitana, provocando enfermedades y epidemias a toda la población. Se logró detener esta situación y con ello todos los males y daños; esto resultó de un valor incalculable, ya que además de mejorar las condiciones de salud, constituyó un ahorro importante en horas de trabajo, servicios médicos.

3.-Con los trabajos de conservación y manejo de cuencas se aumentan la cosecha e infiltración en el terreno del agua de lluvia, las prácticas ahorrativas en el riego agrícola, el intercambio de agua tratada por potable en la industria y en la agricultura, el tratamiento avanzado y la inyección del agua tratada en el subsuelo, se está ayudando a la recarga y a una recuperación imñortante de los acuíferos del valle. Los beneficios actuales son insuficientes, pero de continuarse estas acciones y trabajos se lograrán beneficios significativos para reforzar esa fuente de abastecimiento, además de reducir el problema del hundimiento del subsuelo del valle.

El ahorro para la federación y los habitantes del Valle de México es de aproximadamente 31.5 millones de pesos anuales por cada metro cúbico por segundo de agua recuperada, tanto en la recarga natural de los

acuíferos, como por el tratamiento de aguas negras para su reuso en la agricultura y en la industria. Este valor se dedujo del análisis del costo del bombeo de cada metro cúbico de superficie de agua potable que sale de las cuencas remotas, a la zona metropolitana del valle.

4.-Al mejorar las condiciones ambientales de la zona se propició e impulsó la biodiversidad, recobrando especies de fauna y flora en proceso de extinción, manteniendo y protegiendo las especies existentes e incrementando la avifauna migratoria hasta más de 300 mil individuos de 134 especies diferentes.

5.-Por las características del microclima que se ha generado con la formación de cinco lagos, cuyo espejo de agua tiene una extensión de 1,700 ha, praderas con una superficie de más de 4,000 ha, cortinas de árboles rompevientos, bosques donde sehan sembrado más de un millón de árboles y el programa de forestación que está en proceso, que comprende la siembra de más de 25 millones de árboles, se ha contribuido a formar el pulmón verde más importante del país para la ciudad más grande del mundo, cuyos mayores beneficios han sido:

- En la montaña, la siembra de 25 millones de árboles que evitan la erosión del terreno y deslave de los suelos.
- Mejoramiento del clima al abatirse las temperaturas extremas con la presencia de árboles y pastos en el lecho del ex lago.
- Aumento de la humedad relativa del medio ambiente, efecto que incrementa también las precipitaciones.

- Producción de oxígeno, en el ámbito de lagos, pastos y bosques, que es impulsado por los vientos dominantes hacia la Ciudad de México para depurar el aire.

6.-Mediante la infraestructura construida se están desarrollando parques y centros de cría de ciervos rojos de nueva zelanda, cría de caballo azteca, cuarto de milla, español e inglés; cría de ganado vacuno; desarrollo piscícola, estudio y desarrollo del guSano de maguey y el alga spirulina, que tiene casi el 70% de contenido proteínico; también se explota el huevo del mosco (ahuautle), el mosco, el acocil, las pupas, etc. Todos estos productos tienen gran demanda en el mercado local, y algunos artículos como la spirulina, en el internacional.

Los beneficios tienen impactos fde tipo social y econòmico para los pobladores de la región, que pueden aumentarse a medida que se incremente el monto de las inversiones aplicadas a cada una de las obras mencionadas.

7.-Al mantener el espacio de 10,000 ha de la zona federal, libres de invasiones, se dispone de una gran extensión abierta para la práctica de deportes como atletismo, remo y canotaje, ecuestres, futbol, beisbol, basquetbol, etc.

Como se puede ver, prácticamente todos los beneficios son de un valor incalculable pero sobre todo de un alto valor social, con grandes efectos para la salud y bienestar de todos los que radican en la zona metropolitana. Si fuera posible calcular el monto total de los beneficios actuales y futuros, seguramente alcanzarían a superar por año a los costos directos e indirectos del proyecto desde su inicio, cuyo valor actualizado alcanza hasta la fecha, un mil millones de pesos.

Estudio Hidrológico

El desequilibrio hidrológico de la cuenca del Valle de México se origina por algunos fenómenos naturales, pero sobre todo por el deterioro humano: la devastación de los bosques por la tala inmoderada, los incendios, las plagas, las prácticas de "tumba, roza y quema" a que han sido expuestos los recursos forestales, los cambios del uso del suelo, las prácticas agrícolas inadecuadas y otras razones similares han ido alterando el régimen hidrológico en las subcuencas de los ríos tributarios, haciéndolas cada vez más torrenciales, turbulentas y erosivas, deslavando los suelos y formando cárcavas y barrancas cada vez más profundas. Los terrenos desnudos sin vegetación favorecen la concentración de los volúmenes llovidos, aumentando considerablemente los picos de las avenidas, que provocan el desbordamiento de los cauces, inundando poblaciones y sementeras.

El desequilibrio hidrológico provocado por todas estas acciones y fenómenos ha sido una de las principales razones para incluir en el proyecto las obras necesarias para el manejo de la cuenca.

La cuenca del lago de Texcoco abarca dos de las zonas hidrológicas del Valle de México la zona VI, denominada "Teotihuacan" cuya área es de 930 km² y la VII, denominada "Texcoco", con una extensión de 1,146 km², lo que significa una superficie total de 2,076 km² incluyendo las 10,000 ha de la zona federal.

La variación de la evaporación en el área del ex-lago de Texcoco presenta las mayores pérdidas en marzo, abril y mayo, disminuyendo gradualmente hasta diciembre, cuando se incrementa nuevamente, completando el ciclo. La evaporación máxima diaria fue de 68.51 mm, registrada el 11 de mayo de 1990 y, la mínima de 0.0 registrada el 15 de junio de 1987.

Tomando en cuenta las altas temperaturas que se manifiestan y la frecuencia y duración de los vientos que favorecen a la evaporación, esta se ha medido en valores anuales hasta de 2,453.8 mm, con una media de 1,743 mm. La evaporación es un factor que debe tomarse en consideración por las pérdidas hídricas que se tendrían en los depósitos de agua que se construyan.

Los vientos que predominan en la zona son de tres tipos: vientos de altura, vientos rasantes y vientos convectivos. Los de altura son los del oeste, provienen de la sierra del Ajusco a una altura aproximada de 3,00 m sobre el nivel del mar.

Los rasantes son los del noreste, sureste, norte y noroeste. Los del noreste son polares que entran al lago de Texcoco; los del sureste provienen del antiguo lago de Chalco, los del norte, son vientos fríos que corren de norte a sur durante las noches y los vientos del noroeste provienen de la región de Pachuca.

Los convectivos, se producen durante las horas más calientes. El intenso calentamiento del aire superficial origina movimientos convectivos de masas de aire, provocando remolinos que se proyectan a gran altura, llevando en suspensión grandes cantidades de polvo.

Se puede decir que los vientos dominantes en el lago de Texcoco son de noreste y sureste, siendo los vientos rasantes y convectivos los que ocasionan las famosas "tolvaneras" que tanto afectaron a la ciudad.

El análisis 1988-1994 arroja un gasto de 2.526m³/s de aguas residuales y pluviales en el proyecto Texcoco, para desarrollar los programas de riego de pastos, forestación, áreas verdes, rellenos Sanitarios y lavado de suelos de acuerdo con la capacidad limitada de 1.200 m³/s en el tratamiento de aguas negras y su reuso, tomando en cuenta la evaporación de los lagos.

Ha quedado pendiente el suministro de agua tratada a la zona de riego de San Bernardino; se ha hecho con la finalidad de intercambiar agua de buena calidad por agua tratada en la agricultura, con esto se reduciría la sobreexplotación de los mantos acuíferos de la zona y se tendría mayor disponibilidad para usos domésticos.

Manejo de la Cuenca

La importancia económica y social de las acciones y de las obras que conduzcan a restaurar el equilibrio hidrológico y ecológico de las cuencas tributarias, redundarán en el funcionamiento global equilibrado de la hidrología de estas regiones protegiendo comunidades y sementeras, sino también incrementará la disponibilidad del agua, la recuperación de suelos y, consecuentemente la producción agropecuaria en áreas de bosques maderable, frutales y cultivos de carácter cíclico.

Entre las actividades del manejo de la cuenca, deben considerarse los trabajos de reforestación de las zonas devastadas, que además de tener la función vital de producir el oxígeno y Sanear el ambiente, los árboles, las hierbas, el pasto y todo tipo de vegetación son elementos que frenan el escurrimiento del agua en la cuenca, reduciendo su torrencialidad y los picos de las avenidas; por tanto, disminuye la amenaza de inundaciones en las comunidades y tierras de cultivo, se aumenta la infiltración y la recarga de los acuíferos.

Para definir las obras y proyectos correspondientes a la conservación del suelo y del agua en el manejo de la cuenca, se deben realizar levantamientos aerofotogramétricos; la fotogeología para estudiar la permeabilidad y esodibilidad de los terrenos de la cuenca; estudios geomorfológicos para configurar lomeríos, barrancas, talwegs y corrientes de agua; estudios agrológicos, de mecánica de suelos, hidrológicos y desanómicos para determinar las especies vegetales más adecuadas desde los puntos de vista ecológicos, edafológico y

económico; estudios meteorológicos y climáticos para medir y estimar los coeficientes de evaporación, precipitación, evapotranspiración e infiltración.

Con base en estos estudios se podrán diseñar científicamente las obras necesarias para los estudios que regulen el funcionamiento hidrológico y restauren el equilibrio hidrológico de la cuenca.

Proyectos y Obras

El lago de Texcoco como los demás vasos que integraban la zona lacustre, al secarse se convirtió en un desierto salitroso en el que se descargaban y desbordaban las aguas contaminadas del río Churubusco y el de la Compañía, los que se extendían sobre la mayor parte del área desecada, mezclándose con la tierra y las sales superficiales del lecho lacustre.

Durante los estiajes, con los vientos rasantes del noreste, que se presentaban de enero a abril, se levantaban los polvos salitrosos contaminados y los vientos formaban grandes nubes (tolvaneras) sobre el área metropolitana, al grado que llegaban a oscurecer el aeropuerto y gran parte de la ciudad, provocando en la población de la zona enfermedades oculares, respiratorias y gastrointestinales, principalmente en los menores de edad.

La alternativa correspondiente a restituir el lago a las condiciones que presentaba antes de su desecación se desechó por ser técnicamente inconveniente, ya que la evaporación en esta superficie produciría pérdidas de agua en volúmenes superiores a los 300 millones de metros cúbicos al año.

Ante la paulatina desaparición de espacios libres de construcciones y asfalto en el entorno de la ciudad y zonas conurbadas, resultaba evidente desde el principio que las tierras salitrosas y desnudas del ex lago deberían y podrían ser

transformadas en el gran pulmón de la aglomeración citadina, con áreas de vegetación y lagos que al mismo tiempo funcionarían como vasos de almacenamiento y de regulación, por ello en el proyecto se procuró mantener la región como espacio libre, habilitada para la recreación, el descanso y el turismo familiar.

El programa de obras aprobado dentro del proyecto que se formuló, comprendía:

- A) la construcción de lagos artificiales de gran profundidad y poca superficie expuesta a fin de reducir las pérdidas por evaporación, almacenar y regular las crecientes de los ríos del oriente de la cuenca y las aguas residuales crudas y tratadas para destinar su caudal al riego de pastos y cultivos, usos industriales, servicios y recreación.
- B) obras de encauzamiento y rectificación de los ríos que confluyen y atraviesan el vaso para evitar desbordamientos y contaminación, además de eliminar el peligro de inundaciones en las zonas urbanas. En este renglón se consideró la canalización de los ríos Churubusco y de la Compañía, así como de los tributarios que provienen de la cuenca oriental.
- C) para evitar las tolvánicas generadas en el área desecada del ex lago, se desarrolló un programa de pastización y forestación de las áreas desnudas, formando en primer término bosques lineales, como cortinas de árboles rompevientos.
- D) en las laderas de la cuenca oriental tributaria se llevaría a cabo un programa integral de manejo de la cuenca, con las siguientes obras:

- . Construcción de represas escalonadas en todos los cauces de los ríos y arroyos para retener el

transformadas en el gran pulmón de la aglomeración citadina, con áreas de vegetación y lagos que al mismo tiempo funcionarían como vasos de almacenamiento y de regulación, por ello en el proyecto se procuró mantener la región como espacio libre, habilitada para la recreación, el descanso y el turismo familiar.

El programa de obras aprobado dentro del proyecto que se formuló, comprendía:

- A) la construcción de lagos artificiales de gran profundidad y poca superficie expuesta a fin de reducir las pérdidas por evaporación, almacenar y regular las crecientes de los ríos del oriente de la cuenca y las aguas residuales crudas y tratadas para destinar su caudal al riego de pastos y cultivos, usos industriales, servicios y recreación.
- B) obras de encauzamiento y rectificación de los ríos que confluyen y atraviesan el vaso para evitar desbordamientos y contaminación, además de eliminar el peligro de inundaciones en las zonas urbanas. En este renglón se consideró la canalización de los ríos Churubusco y de la Compañía, así como de los tributarios que provienen de la cuenca oriental.
- C) para evitar las tolvánicas generadas en el área desecada del ex lago, se desarrolló un programa de pastización y forestación de las áreas desnudas, formando en primer término bosques lineales, como cortinas de árboles rompevientos.
- D) en las laderas de la cuenca oriental tributaria se llevaría a cabo un programa integral de manejo de la cuenca, con las siguientes obras:

- . Construcción de represas escalonadas en todos los cauces de los ríos y arroyos para retener el

agua y el azolve, reduciendo la torrencialidad de los escurrimientos.

- . Construcción de terrazas a nivel; de absorción, canalización y subsoleo.
- . Tinas ciegas, y zanjas trinchera a nivel.
- . Reforestación de las áreas denudadas.

Así se podría detener la erosión, el arrastre de azolves, recargas acuíferos y recuperar suelos.

- D) diseñar viveros para producir toda la planta necesaria (brinzales), para los programas de reforestación del proyecto.
- F) propiciar el desarrollo de la ganadería y piscicultura, el refugio de la avifauna silvestre local y migratoria, el establecimiento de parques de venados y otras especies para su explotación comercial y la cría de caballos de raza con igual objeto. Al mismo tiempo, la recuperación de aves y especies acuáticas en extinción como el pato mexicano (anais diasí) los chichicuilotos, acociles, el ahuahutle, el pescadito amarillo y otras, así como investigaciones para el desarrollo de especies de gran demanda, como el gusano del maguey y la spirulina.
- G) impulsar actividades deportivas y recreativas.

Con el fin de cumplir uno de los objetivos del Proyecto Lago de Texcoco fue necesario construir varios lagos para regular y almacenar los escurrimientos superficiales, las aguas negras crudas y tratadas. Se manejaron estos recursos en el riego de pastizales y plantación de árboles, así como en la agricultura, sustituyendo al agua de los pozos de calidad potable y

preservando ésta para usos domésticos y otros donde se requiera esta calidad.

A continuación se presenta un resumen de los lagos construidos y sus características.

- Lago Nabor Carrillo. Con una capacidad de 36 millones de metros cúbicos y una superficie de 1,000 ha., Inició su operación desde 1982, su construcción se realizó en su primera fase por el método del bombeo de 180 pozos someros, durante seis años, hasta formar una depresión de 12 millones de metros cúbicos, posteriormente se construyó un bordo perimetral de 12 km de longitud, con una corona de 4 m de ancho y 3.20 m de altura.
- Lago de regulación horaria. Tiene una capacidad de 4.5 millones de metros cúbicos, en una superficie de 150 ha. Se construyó mediante dragado convencional, con draga hidráulica flotante, dejando taludes 3:1 a una profundidad de 3.50 m. El funcionamiento del lago está considerado para la regulación y almacenamiento de las aguas pluviales y residuales provenientes de la ciudad de México y de la zona suroriente del Valle de México.

Los influentes son conducidos por el brazo izquierdo del río Churubusco, que tiene un gasto medio de 10.4 m³/s, con una máxima de 70 m³/s y un mínimo de 2 m³/s.

- Lago Churubusco. Inició su operación en 1983, con una capacidad de 5.10 Km³ en una superficie de 270 ha; el procedimiento usado en su construcción fue a base del bombeo de pozos someros, utilizando aire comprimido durante cuatro años para formar una depresión de 4 millones de metros cúbicos; posteriormente se realizó el dragado convencional con dragas hidráulicas flotantes para lograr la capacidad total, sus taludes fueron 3:1.

Este lago también funciona para la regulación y almacenamiento de las aguas pluviales y residuales conducidas por el brazo derecho del río Churubusco, provenientes de la Ciudad de México y de la zona suroriente del Valle de México por el río de la Compañía.

- Laguna de Xalapango. Es un embalse que regula y almacena las avenidas de los ríos de la cuenca oriental: Papalotla, Coxacoaco y Xalapango. Funciona desde 1982 y sus gastos de descarga se mandan por el canal colector hasta el lago Nabor Carrillo. Su capacidad es de 3.6 hm³ en una superficie de 240 ha, se conformó mediante un bordo perimetral que rodea una depresión natural.
- Lago recreativo. Fue el pionero del método empleado en el Nabor Carrillo. El bombeo de pozos someros tuvo una duración de dos años, su capacidad es de 0.375 hm³ y superficie de 25 ha. Se conformó aprovechando el campo de prueba donde se ensayaron diferentes procedimientos para hundir el terreno. Funciona como refugio de las aves nativas y migratorias. Su operación se inició en 1982 y su influente proviene de los pozos profundos (pp1 y pp3) construidos en la etapa preliminar de los estudios.

Plantas de Tratamiento

Como los ríos Churubusco y de la Compañía llegan al ex lago de Texcoco con una mezcla de agua residual y pluvial que alcanza promedio gastos del orden de los 16 m³/s, se proyectó un conjunto de plantas de tratamiento para aprovechar estas aguas en diversos usos, sobre todo en la agricultura, la industria y servicios municipales, reemplazando así el agua de los acuíferos que en la actualidad se emplea en dichas actividades. En este contexto, el Proyecto Lago de Texcoco fue de los pioneros en el país en establecer sistemas de tratamiento a gran escala,

buscando siempre aplicar la tecnología más apropiada y moderna.

De acuerdo con la tecnología disponible se terminó en 1983 la planta convencional de lodos activados de aireación mecánica, con capacidad de 1,000 l/s. Posteriormente y como consecuencia del desarrollo que se presentó en los sistemas de lagunas de estabilización, se construyó una planta del tipo lagunas facultativas con recirculación, cuya capacidad es de 500 l/s. Finalmente se diseñó y construyó una planta experimental de tratamiento terciario con capacidad de 50 l/s, para investigar la forma más económica de recargar los acuíferos y lograr equilibrar las grandes extracciones de agua del subsuelo.

Actualmente se encuentra en proceso de construcción una planta de lodos activados con tecnología de punta, ésta es la de aireación a contracorriente, recomendada por la epa.

Por último, de acuerdo con los antecedentes y estudios realizados, se puede afirmar que los resultados obtenidos por las obras y acciones de la primera etapa del proyecto lago de Texcoco, demuestran la eficacia de los programas, estrategias y diseños que se llevaron a cabo, estando entre los más significativos los siguientes:

1. Gracias a los lagos y encauzamientos de los ríos más importantes se han regulado y controlado las avenidas, evitándose con ello inundaciones.
2. Mediante los cuerpos de agua, la pastización y las cortinas de árboles rompevientos, se ha erradicado desde hace más de 12 años, casi el 95% de las tolvaneras, que ocasionaban todos los años serios perjuicios a la salud de la población.
3. Con los lagos, ríos encauzados, praderas, forestación y reforestación se ha venido constituyendo un gran

espacio verde, verdadero pulmón para toda la zona metropolitana mejorando a su vez las condiciones ambientales de la región.

4. Ha sido muy importante la continuidad de los trabajos del proyecto durante mas de 25 años, durante los cuales se han terminado las obras básicas de la infraestructura programada, mantenimiento y operación de las instalaciones.
5. La labor conjunta en la cuenca tributaria en la zona montañosa, ha rescatado de manera parcial el equilibrio hidrológico, recuperando suelos y propiciando la infiltración del agua de lluvia en el terreno y la recarga de acuíferos.
6. Se ha impulsado entre los agricultores la idea del intercambio de aguas, reemplazando el agua de buena calidad que se extrae de los acuíferos para riego, por aguas residuales tratadas.
7. Se está desarrollando un sistema de plantas de tratamiento, ha nivel secundario, cuyos efluentes se utilizan para el llenado del Nabor Carrillo, riego de áreas de pastización, forestación y otros cultivos. Además se esta experimentando el tratamiento terciario.
8. La restauración del carácter lacustre de la región así como el desarrollo de las praderas y los bosques, han propiciado el retorno de la avifauna migratoria y nativa así como la preservación de la vida silvestre, que casi había desaparecido.
9. Se han logrado mantener las 10,000 ha. De la zona federal, libres de invasiones permitiendo realizar todas las obras con pocas interferencias.

10. La asistencia técnica en las labores agropecuarias ha sido constante, mediante la formación de cooperativas de producción y de consumo de diferentes comunidades de la cuenca.
11. Se han establecido las bases para el incremento y mejoría del ganado vacuno y caballar.
12. Se está propiciando una importante cría de ciervos rojos de Nueva Zelanda.
13. Se está fomentando el cultivo piscícola y de acuafilia de diversas especies nativas del lugar.
14. Se ha contribuido en forma importante a resolver el problema de la disposición de los desechos sólidos del distrito federal mediante la construcción de rellenos Sanitarios diseñados con todas las precauciones y normas Sanitarias.
15. Por las características geográficas de la zona, que permiten un acortamiento vial importante y estratégico, se construyó la autopista de peaje Peñon- Texcoco, de 17 kms. De longitud.
16. El conjunto del proyecto es un modelo de rescate ecológico e hidrológico para otras partes del país.

CONCLUSIONES

El estudio nos ha demostrado que el total de agua dulce disponible en el mundo, descontando la que se encuentra en las capas polares, es de sólo 8 mil millones de km³. Esta agua sería más que suficiente para abastecer a toda la población mundial, sin embargo el problema radica en que la distribución natural de este recurso no está acorde con las necesidades humanas. A pesar de que existe una adecuada oferta global del agua, la naturaleza y las acciones del hombre se han combinado para modificar la cantidad y la calidad del agua en muchas regiones.

El uso y abuso de los ecosistemas fluviales es un factor al que se deberá dar una mayor ponderación. Los ríos han sido los ecosistemas más aprovechados por el hombre a lo largo de la historia. Considerado un recurso renovable, un sistema de rápido transporte y de remoción de desechos, y una fuente potencial de energía.

Son muchas las actividades humanas que alteran los componentes de los ecosistemas fluviales, y cada vez en mayor medida estas actividades afectan a superficies mayores, a grandes distancias desde donde se producen, y con mayor intensidad en función del creciente poder tecnológico y de desarrollo de los países.

Los problemas ambientales de los centros urbanos y agrícolas están directamente ligados a la calidad de vida de la población y, por lo tanto, afectan también la calidad y distribución del vital líquido.

El efecto de la contaminación por deposición ácida en muchas masas de agua, procedente de las zonas más industrializadas y que tienen su efecto a grandes distancias de donde se originan, pueden crear conflictos entre cuencas y países. Pero son las actividades desarrolladas en las proximidades de los cauces, o en su interior, las que tienen un mayor impacto y más visible en

los ecosistemas fluviales, alterando profundamente la vida acuática que albergan. Cualquier alteración al régimen hidráulico destruye la compleja estructura de las orillas naturales, trayendo consigo en la mayoría de los casos la eliminación de la vegetación de la ribera y el empobrecimiento de la fauna acuática.

Entre las principales actividades humanas que afectan los ecosistemas fluviales se encuentran los transvases entre cuencas, los cambios en el uso del suelo (repoblación, reforestación, urbanización, desarrollo agrícola, drenajes), actividades agropecuarias (remoción de la vegetación de riberas, agricultura y pastoreo), de control contra inundaciones (obras de defensa contra avenidas, dragados y canalizaciones), y actividades recreativas.

Todas estas actividades tienen grandes impactos dentro de los ríos, tales como la regulación de caudales (presas), contaminación orgánica e inorgánica, abstracción o incorporación de caudales, explotación de especies nativas, introducción de especies exóticas y la navegación.

Aunado a esto, existe una demanda creciente de agua debido, principalmente, a la explosión demográfica, a la creciente actividad empresarial y la agrícola. Ésta última es la actividad que demanda una cantidad enorme del agua consumida (70% en promedio, el uso hidroeléctrico es el que extrae una mayor cantidad de agua, pero no la consume ni tiene descargas residuales) y es la que menos uso eficiente le da al recurso.

Hoy en día, aparece cada vez con más frecuencia entre los científicos, administradores y políticos, a nivel internacional, el concepto de "desarrollo sustentable", aceptando la necesidad de adecuar el aprovechamiento de los recursos naturales a su mantenimiento y conservación, reconociendo la utilidad, incluso en términos económicos, de seguir las leyes de la naturaleza (mantenimiento de los proyectos sin costo adicional) en lugar de contradecirlos (gastos de mantenimiento de los proyectos

periódicos, a veces muy superiores a la realización de los mismos).

Actualmente, la conservación de los ecosistemas es un objetivo ampliamente aceptado en el mundo, al menos teóricamente, a través de las principales estrategias propuestas:

- Mantener los procesos ecológicos esenciales y los sistemas biológicos.
- Conservar la diversidad genética.
- Asegurar un aprovechamiento sostenido de las especies y de los ecosistemas.
Son varios los motivos que podemos aludir para justificar la restauración y conservación de los sistemas naturales:
- Mantenimiento de los sistemas que soportan vida.
- Valor práctico (por ejemplo, control de la erosión, potencial terapéutico, potencial genético para especies cultivadas, etc.)
- Importancia económica (minerales, turismo, etc.)
- Investigación científica
- Educación
- Valor estético y recreativo
- Consideraciones éticas

En particular, los recursos y valores que ofrecen los ecosistemas fluviales naturales, son:

- ✓ Agua.
- ✓ Movimiento de energía.
- ✓ Pesca como alimento y actividad recreativa.
- ✓ Vegetación acuática y de riberas.
- ✓ Fauna silvestre asociada a la presencia del río.
- ✓ Valor recreativo (baños, embarcaciones, pic-nic, etc.).
- ✓ Valor paisajístico.
- ✓ Valor científico y cultural.

En este caso, su gestión y conservación para el aprovechamiento sostenido de los recursos que ofrecen exige adoptar una estrategia a nivel de cuenca hidrográfica, realizando una planificación de los usos del suelo acorde con la conservación de los mismos, y teniendo en cuenta las interrelaciones que existen entre los componentes fluviales y los sistemas terrestres que les rodean.

Sin embargo, existe un inconveniente, la distinta percepción del río y sus puntos de partida, entre hidrólogos (ingenieros) y ecólogos (biólogos), que determinan visiones muy parciales en cada caso de los sistemas fluviales y de las posibilidades y significado de su restauración.

Indudablemente la perspectiva del hidrólogo es muy útil para el diseño de los cauces, proponiendo estructuras estables frente a la fuerza de gravedad, tensión de arrastre y energía de la corriente. Atendiendo a las leyes físicas se pueden deducir fórmulas o modelos teóricos para el cálculo de tales estructuras, y en la práctica darles solución quitando grados de libertad al río, para deducir el número de variables a calcular o predecir.

Pero tratándose de un sistema natural como es el río, en el diseño o restauración de los cauces no puede obviarse su capacidad para albergar vida, debiendo tener en cuenta la necesidad de crear hábitats físicos para la fauna, ofreciendo una diversidad de espacios y condiciones hidráulicas útiles para el mayor número de especies posibles.

Es pues necesario unir a la visión del hidrólogo la perspectiva biológica de los ríos, teniendo un enfoque mucho más completo del medio fluvial y mayor información para elaborar los proyectos de restauración, tomando en cuenta a la propia naturaleza.

No obstante, existe la conciencia de que se deberá mejorar la tecnología y las políticas de uso para encontrar mecanismos de manejo integral y desarrollo sustentable que ayuden a eficientar los distintos usos del agua, tanto a nivel doméstico, industrial, agrícola y recreativo, a fin de evitar problemas de dimensiones catastróficas tanto a nivel mundial como regional y local.

En lo que respecta a la República Mexicana, este problema se manifiesta de la misma manera en que se comentó en los párrafos anteriores. Si tomamos en cuenta que México dispone de 5,125 m³/hab por año, se diría que no sufrimos de escasez de agua, sin embargo, por su ubicación y distribución geográfica y climática, México está expuesto a fenómenos meteorológicos extremos como: sequías, ciclones tropicales y lluvias extraordinarias.

Las sequías impactan considerablemente diversas actividades humanas y el abastecimiento de agua a poblaciones. Cíclicamente el noroeste, norte y noreste del país, regiones donde se concentra la mayor parte de la población y actividades industriales, se han visto afectados por la falta de precipitación y consecuentemente por el abatimiento de acuíferos.

En contraste, en otras regiones de la República se presentan problemas por exceso de agua generados a su vez por intensas lluvias que originan grandes escurrimientos en ríos y arroyos.

Por otro lado, la sobreexplotación de los acuíferos y la calidad del agua es un problema que se suma al anterior, ya que prácticamente todos los cuerpos de agua importantes tienen grandes zonas contaminadas debido a las descargas residuales que se realizan sin control (según la Red Nacional de Monitoreo de la calidad del agua, el aprovechamiento del agua superficial es ya de por sí difícil, ya que el 58 % se clasifica como contaminada y el 21 % como fuertemente contaminada). Ante esta situación, el gobierno a través de la Comisión Nacional del Agua y con fundamento en el Artículo 27 de la Constitución, la Ley Orgánica de la Administración Pública, el Código Fiscal de la Federación, la Ley de Bienes Nacionales, Ley General del equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley de Aguas Nacionales, Ley Federal de Derechos del Agua, etc. Trata de darle un enfoque integral al manejo de cuencas hidrológicas, formando consejos integrados por autoridades federales, estatales, municipales y usuarios. Con esto, se busca que todos los sectores de la sociedad participen en la toma de decisiones para alcanzar los objetivos planteados en el corto y mediano plazos en el Programa Hidráulico 1995-2000 elaborado por el gobierno, para lograr un desarrollo sustentable del vital líquido.

Con respecto a la situación hidráulica en el Valle de México, ésta se una de las problemáticas más complejas a nivel nacional, sin menospreciar la que viven las otras grandes áreas metropolitanas del país (como por ejemplo las ZMCG y ZMCMo).

La Ciudad de México es un ente orgánico que necesita agua para su subsistencia y desarrollo. Pero su abasto no está garantizado. Por el contrario, enfrenta grandes riesgos. La Ciudad fue construida sobre lagos, en una cuenca rodeada por montañas, a 2000 metros sobre el nivel del mar. El progresivo crecimiento urbano de la ciudad motivó que las autoridades desecaran y ocuparan casi toda la antigua zona de los lagos.

No obstante, de acuerdo a las diferentes fuentes consultadas, la ciudad todavía obtiene entre un 55% y un 70% de su abasto de agua de los acuíferos subterráneos de la cuenca. Estos acuíferos son sobreexplotados, ya que se les extrae más agua que la que recibe como recarga. En consecuencia el manto freático se ha ido retirando de la superficie y los pozos han tenido que hacerse cada vez más profundos, alcanzando progresivamente aguas fósiles no aptas para el consumo humano, a medida que la extracción es más profunda, gradualmente disminuye la calidad del agua para consumo humano.

Ante esta problemática, se ha recurrido a cuencas externas para obtener el abasto complementario necesario para satisfacer las necesidades de la metrópoli. Se ha construido uno de los acueductos más largos del mundo y se han requerido de equipos de bombeo especiales y de tecnología extranjera para bombear más de 1000 metros de altura para alcanzar el nivel de la Ciudad de México. En consecuencia, cada vez se requieren de mayores inversiones para construir infraestructura y para los costos de operación, a esto se suman las protestas de las poblaciones locales de las cuencas exportadoras, en contra de la expropiación de su agua para abastecer la aparentemente irrefrenable demanda de agua de la Ciudad de México.

Por lo anterior, se deben buscar mecanismos y proyectos que permitan la rehabilitación y el aprovechamiento de los recursos naturales de las zonas de conservación ecológica del Valle de México, buscando incrementar la reforestación y la recarga de los mantos acuíferos, para restablecer el equilibrio hidrológico de la cuenca. Se debe evitar un desequilibrio mayor en los ciclos biológicos que afectan a los recursos naturales, cuidando principalmente lo que queda de los bosques locales, ya que estos son los que oxigenan a la cuenca atmosférica y es la zona de recarga que permite la continua explotación de los mantos acuíferos.

Es forzoso cambiar de óptica las políticas del manejo del agua que van en contra del mismo ciclo hidrológico, ya que en vez de buscar importar el vital líquido de otras cuencas a un costo socioeconómico y político enorme, se podrían enfocar esos recursos en trabajos de investigación, estudios de factibilidad y proyectos de infraestructura para captar la mayor cantidad de escurrimientos por lluvia, en las reservas ecológicas que aún subsisten en el Valle de México.

Por ejemplo, la reserva que se ubica al sur del Distrito Federal, principalmente en las delegaciones de Milpa Alta, Tláhuac, Xochimilco y Cuajimalpa, donde se podrían realizar obras de captación y de infraestructura para recargar los mantos freáticos de esa zona (por ejemplo, con perforaciones de múltiples galerías de filtración).

De considerarse la importancia de la zona, protegiéndola contra la deforestación y la urbanización, tal vez se alcanzaría un balance hidrológico positivo en la región.

Por lo anterior se debe tomar en cuenta es el continuo crecimiento de la población, que demanda cada día más agua. Consecuentemente también sigue creciendo la mancha urbana, ocupando partes de esta zona de conservación ecológica restante. Esto afecta los planteamientos anteriormente señalados, ya que de seguir creciendo la mancha urbana, iría acabando con las áreas boscosas locales y, por lo tanto, el aprovechamiento de la precipitación pluvial y la recarga de los mantos freáticos. El abasto local disminuirá y la sobreexplotación crecerá. Los pozos tendrían que ser cada vez más profundos, incrementándose los costos de perforación y bombeo. Si la sobreexplotación continúa, se alcanzarán aguas que no tienen suficiente calidad para el consumo humano. Entonces la ciudad se verá obligada a subsistir con mayores volúmenes extraídos de fuentes externas, a cualquier costo.

Pero el mayor reto que enfrentará la Ciudad de México, es garantizar el abasto de agua para las futuras generaciones. La única opción viable y sustentable sería:

- La racionalización del consumo
- Tratar las aguas residuales y reutilizarlas en sustitución de ciertos consumos de agua potable y/o reinyectarla al acuífero.
- Aprovechar los avances tecnológicos para enfrentar el grave problema de las fugas, ya que las líneas que se encuentran bajo el suelo y llegan hasta los consumidores pierden, por ese motivo, un promedio de entre 30 y 40% del agua que transportan, lo que implica un despilfarro excesivo y un alto costo que debemos pagar entre todos.
- Garantizar una más amplia captación superficial y una mayor recarga de los acuíferos de la cuenca, para que la metrópoli dependa mayormente de sus propios recursos naturales.
- Crear programas de concientización sobre el manejo del agua entre los funcionarios públicos, primeramente, y la sociedad en general (sector industrial, agropecuario, agrícola y doméstico).
- Deben plantearse objetivos a corto y largo plazo, en base a hipótesis y expectativas de cómo evolucionarían la economía, la sociedad y el país en general, buscando lograr el equilibrio hidrológico del mayor número de cuencas posibles.
- Es necesario crear también una conciencia ecológica para sostener el ciclo hidrológico, protegiendo y restaurando ecosistemas que aún no han sido destruidos por la mano del hombre.

BIBLIOGRAFÍA

TESINA: LA ECONOMÍA DEL AGUA EN MÉXICO, REALIDADES Y PERSPECTIVAS

**CHEMICAL CYCLES AND THE GLOBAL ENVIRONMENT
ASSESSING HUMAN INFLUENCES
ROBERT M. GARRELS, FRED T. MACKENZIE, CYNTHIA HUNT
WILLIAM KAUFMAN, INC.
ONE FIRST STREET, LOS ALTOS, CALIFORNIA 94022
1975
CHAPTER 5, pags. 50 a 54**

**INTEGRATED RESOURCE MANAGEMENT
Agroforestry for Development
Edited by
Charles V. Kidd
Directorate for International Programs American Association for Advancement of Science
Washington, D.C.
David Pimentel
Department of Entomology Cornell University
Ithaca, New York

ACADEMIC PRESS, INC.
Harcourt Brace Jovanovich, Publishers, 1992
CHAPTER 5 WATER
páginas 81 a 98**

**PLANET EARTH
Frank Press, Massachusetts Institute of Technology
Raymond Siever, Harvard University
Chapter 5 The Control of the Water Cycle, José P. Peixoto and M. Ali Kettani
Readings from SCIENTIFIC AMERICAN
W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1974
páginas 49 a 66**

**ECONOMÍA AMBIENTAL
Lecciones de América Latina
Instituto Nacional de Ecología
EDITADO POR: SEMARNAP, MÉXICO 1997
La Agenda Ambiental de la Economía Urbana e Industrial
Los instrumentos Económicos en la Gestión Urbana
Otoniel Ochoa
El Caso del Agua en el Distrito Federal, como sí se puede
páginas 184 a 191**

BIBLIOGRAFÍA

TESINA: LA ECONOMÍA DEL AGUA EN MÉXICO, REALIDADES Y PERSPECTIVAS

POBLACIÓN, RECURSOS Y MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO

Vicente Sánchez, Margarita Castillejos, Leonora Rojas Bracho

Fundación Universo Veintuno

México, 1989

capítulo III La Utilización de los Recursos Naturales y su Impacto Sobre el Medio Ambiente
páginas 63 a 94

EL MUNDO, MEDIO AMBIENTE 1990

Un reporte del Worldwatch Institute sobre el avance hacia una sociedad sustentable

Fundación Universo Veintiuno

Capítulo III El Ahorro de Agua para la Agricultura

Sandra Postel

páginas 59 a 86

EL MUNDO, MEDIO AMBIENTE 1990

Un reporte del Worldwatch Institute sobre el avance hacia una sociedad sustentable

Fundación Universo Veintiuno

Capítulo IV Un Mundo sin Agua

Escasez de Agua

Sandra Postel

páginas 123 a 139

PROTECCION AMBIENTAL PARA EL SECTOR HIDRAULICO

Ponencias Seleccionadas

Con la participación de:

Instituto de Ingeniería de la UNAM

Comisión Nacional del Agua

The British Council (El Consejo Británico)

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo)

Editores:

Asit K. Biswas, Instituto de Ingeniería de la UNAM

Cecilia Tortajada Quiroz, Comisión Nacional del Agua

1997

Ponencia: Programa de Protección Ambiental de los Recursos Hídricos

Autor: Ignacio Castillo Escalante

páginas 28 a 38

Ponencia: Manejo del Agua y Ordenamiento Ecológico

Autor: Alejandro D'Luna Fuentes

Subtítulo: El Medio Natural y el Agua desde una Perspectiva Geoecológica

páginas 83 a 94

BIBLIOGRAFÍA

TESINA: LA ECONOMÍA DEL AGUA EN MÉXICO, REALIDADES Y PERSPECTIVAS

Ponencia: Disponibilidad del Agua en México en Función de la Cantidad, Calidad y Usos.

Autor: Blanca Jiménez Cisneros

páginas 114 a 134

Ponencia: Fortalecimiento de las Capacidades Institucionales (Capacity Building) para la Protección del Medio Ambiente

Autores: Eric Gutiérrez López, Ma. Antonieta Gómez Balandra, Lydia Márquez Bravo y Felipe I.

Arregín Cortés

páginas 136 a 153

Ponencia: Impacto Ambiental en la Comisión Nacional del Agua: Análisis y Perspectivas

Autor: Francisco Villamar López

páginas 166 a 180

MÉXICO: INFORME DE LA SITUACIÓN GENERAL EN MATERIA DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE

1993-1994

Secretaría de Desarrollo Social

Instituto Nacional de Ecología

1994

Coordinación General: Cristina Cortinas de Nava y Yolanda L. Ordaz Guillén

páginas 109 a 128

SITUACIÓN Y PERSPECTIVAS AMBIENTALES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

NICOLO GLIGO. Coordinador, Unidad Conjunta CEPAL/PNUMA de Desarrollo y Medio Ambiente

REVISTA DE LA CEPAL N° 55

ABRIL 1995

páginas 107 a 122

RÉGIMEN JURÍDICO DEL AGUA: LA EXPERIENCIA DE ESTADOS UNIDOS

CARL J. BAUER. Candidato doctoral visitante del Departamento de Jurisprudencia y Política Social de la Escuela de Leyes de la Universidad de California.

REVISTA DE LA CEPAL N° 49

ABRIL 1993

páginas 75 a 89

MANEJO INTEGRADO DEL RECURSO AGUA: CON LA PERSPECTIVA DE LOS PRINCIPIOS DE DUBLÍN

MIGUEL SOLANES, Asesor Regional en Legislación de Recursos Hídricos y de Regulación de Servicios Públicos, CEPAL

BIBLIOGRAFÍA

TESINA: LA ECONOMÍA DEL AGUA EN MÉXICO, REALIDADES Y PERSPECTIVAS

REVISTA DE LA CEPAL N° 64

ABRIL 1998

páginas 165 a 184

SISTEMA CUTZAMALA

PRIMERA ETAPA

Publicado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos

Editado por el Departamento de Divulgación de la Comisión de Aguas del Valle de México

ABRIL 1982

páginas 1 a 36

SISTEMA CUTZAMALA

SEGUNDA ETAPA

Publicado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos

Editado por la Comisión de Aguas del Valle de México

ABRIL 1985

páginas 1 a 36

SISTEMA CUTZAMALA

Publicado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos

Editado por la Comisión de Aguas del Valle de México

ABRIL 1985

páginas 1 a 36

SISTEMA CUTZAMALA

Publicado por la Comisión Nacional del Agua

Editado por la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México

DICIEMBRE 1997

páginas 1 a 47

PROGRAMA HIDRÁULICO 1995-2000

PODER EJECUTIVO FEDERAL

Publicado por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca

Editado por la Dirección General de Comunicación Social de la SEMARNAP

y de la Unidad de Comunicación Social de la CNA

MÉXICO, FEBRERO 1996

páginas 1 a 54

BIBLIOGRAFÍA

TESINA: LA ECONOMÍA DEL AGUA EN MÉXICO, REALIDADES Y PERSPECTIVAS

**PROYECTO LAGO DE TEXCOCO
RESCATE HIDROGEOLÓGICO
ING. GERARDO CRUICKSHANK GARCÍA, Gerente del Proyecto Lago de Texcoco
Publicado por la Comisión Nacional del Agua
Editado por la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México, de la CNA
2ª Edición
MÉXICO, DICIEMBRE 1998
páginas 1 a 135**

**ADMINISTRACIÓN DEL AGUA EN ÉPOCA DE ESCASEZ
SANDRA POSTEL
Colección Universo del Agua, CNA-IMTA
MÉXICO, 1991**

**INFORME DE LA SITUACIÓN GENERAL EN MATERIA DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y
PROTECCIÓN AL AMBIENTE 1993-1994
DIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN HIDRÁULICA
DGCOH, DDF
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA, SEMARNAP
MÉXICO, 1994**

... Prosiguieron las creaciones y la siguiente fue el agua y los dioses de ésta, que debían gobernarla y a quienes todos los hombres habían de pedirla para recibirla; al igual que las bestias colosales que los diminutos insectos, puesto que sin ella no pueden nacer ni continuar con vida. El agua, cuando la hubiese, cambiaría la fisonomía de la Tierra, tocando en atractivo paisaje el conjunto de rocas ásperas y tristes; añadiendo el azul de los lagos a la blancura de las cascadas y al verde de las grandes lagunas.

- ¡Que sea líquida! - dijo uno.

- ¡Que sus formas no puedan precisarse por que las tome según el lugar o las paredes que la contengan! - agregó otro.

- ¡Que sea como mis criaturas: movable, inquieta, que vuele, que caiga sin hacerse daño, que suba por su propio potencial! - señaló Quetzalcóatl.

- ¡Que suba invisible! - interrumpió otro dios - ¡En forma de vapor y forme nubes blancas, grises, flotantes y húmedas que cambien la visión del cielo que será azul por la existencia del agua en grandes masas, agua que un día se juntará con la de la Tierras, formándole un cerco por el cual los hombres que vamos a crear podrán salirse de una tierra para ir a otra!

- ¡Hagámosla no sólo líquida, sino sólida, no sólo tibia, sino cálida hasta la ebullición y fría hasta la congelación formándose escarcha, la nieve, el granizo y el hielo!

- ¡Que sea potente para moverse y mover las cosas que vayan sobre ella, para erguirse sobre la tierra, formando charcos y surtidores que adornen los campos y las fuentes!

- ¡En partes salada y en partes dulce, buena para vivir, ya sea tomada o en forma de baño!

- ¡Hagámosle un dios que la mande en forma de rocío para saciar la sed de las flores; como la lluvia para que germinen las semillas, aplaque el polvo, refresque el ambiente y se bañen las plantas, los animales y las personas!

- ¡Que sea amada y a la vez temida, para lo cual ha de caer como tromba, irguiéndose del mar como columna, ayudada por un torbellino, doblándose, moviéndose, que se cierna sobre la tierra y al quebrarse, la masa de agua haga estragos incalculables!

- ¡Como tempestad impelida por los vientos! - dijo Quetzalcóatl - ¡Que parezca ser objeto de nuestras iras!

Cada uno de los dioses iba pensando y lo que decía se iba realizando y el agua fue haciéndose una mezcla de prodigios, todos cuantos quisieron darle sus creadores. El agua se extendió en lo que fuera el primer cielo y fue tanta que formó un océano, tan grande, tan inmenso, que parecía ocupar toda la superficie baja del gran cielo...

Leyenda Náhuatl