

Paradigmas emergentes para el manejo del agua en el siglo XXI

Conferencia Enzo Levi 2000

Poliopro F. Martínez Austria

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

El propósito de este artículo es demostrar que la gestión de los recursos hidráulicos se encuentra en una etapa de crisis profunda, la cual sólo se podrá superar si se produce un cambio sustancial hacia nuevos modelos mentales, nuevos paradigmas del manejo del agua. Se expone de manera sucinta la problemática actual del agua en el mundo y en México, en lo que se refiere a usos, consumo y tendencias globales. Se incluyen en la discusión los efectos previsibles del calentamiento global en los recursos hidráulicos. Se presentan algunos de los principios rectores que, a juicio del autor, constituirán la base de los nuevos modelos de pensamiento en la gestión del agua: tratamiento global de la gestión del agua, visión mundial del agua y sus cinco condiciones rectoras, pensamiento sistémico y gestión integrada. Se incluye una aplicación de los arquetipos sistémicos a la sobreexplotación de acuíferos.

Palabras clave: gestión del agua, gestión integrada del agua, recursos hidráulicos, arquetipos sistémicos, calentamiento global y recursos hidráulicos.

Introducción

Una de las funciones sociales de la investigación es el pronóstico del futuro. Ya desde tiempos ancestrales, en los zigurats babilónicos, los astrónomos buscaron escudriñarlos. Los seres humanos han intentado con insistencia prever el porvenir, porque de ello depende, con frecuencia, su supervivencia. El hombre es, por ello, un ser teleológico, es decir que norma su conducta no sólo por el pasado, sino sobre todo por el futuro, tanto el que anticipa con sus modelos y cálculos como el que desea moldear. Es efecto de su propia causa.

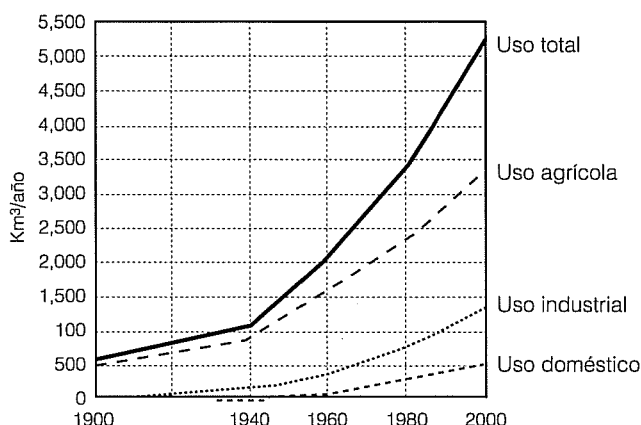
Como resultado de conceptos heredados de la filosofía platónica, algunos suponen que existe un estado ideal, de equilibrio. Guiados por este prejuicio cultural, de manera inconsciente existe una tendencia a tomar decisiones como si no hubiese cambios significativos, como si fuese posible adaptarse a la realidad mediante pequeños ajustes. El mundo, sin embargo, se parece más a la visión que tuvieron de él los presocráticos: como una realidad siempre en evolución y con cambios de tal magnitud que con frecuencia lo nuevo es cualitativamente diferente a lo anterior. Así, de lo inanimado surge la vida, del estado sólido se pasa al líquido, del flujo subcrítico, al supercrítico; lo nuevo es radicalmente diferente de lo anterior. El mundo fue visto

por Heráclito como una continua sucesión de las formas y, en una línea ininterrumpida de pensamiento, por la dialéctica de Hegel, como la continua mudanza del ser.

René Thom (1973), autor de la *Teoría de la catástrofe*, escribió: "debemos conceder que el universo es una incesante creación, evolución y destrucción de formas, y que el propósito de la ciencia es prever estos cambios de formas y, si es posible, explicarlos"¹. Existen momentos privilegiados en la historia en que ocurren estos cambios no sólo cuantitativos, sino cualitativos, cuando de la realidad emerge una nueva concepción del mundo y una nueva forma de vivir. El propósito principal de este texto es compartir con los lectores la convicción del autor de que las disciplinas del agua y los recursos naturales se encuentran en uno de esos

¹ Es tan fuerte la continuidad de esta corriente de pensamiento filosófico, desde los presocráticos hasta nuestros días, que Thom escribió en su libro: "De hecho, todas las ideas básicas intuitivas de la morfogénesis pueden encontrarse en Heráclito: todo lo que yo he hecho es colocarlas en un marco geométrico y dinámico que las hará accesibles algún día al análisis cuantitativo. Las 'palabras solemnes y sencillas' como aquellas pronunciadas por la sibila y que han resonado sin titubeos a lo largo de los siglos, merecen este distante eco". Thom (1973), pág. 10.

Ilustración 1. Consumo mundial de agua (Biswas, 1992).



momentos (Biswas, 1999)², y la consecuente urgencia de cambiar y contribuir a los nuevos paradigmas o modelos de pensamiento que parecen emerger en el horizonte.

La situación actual

Solamente 0.007% del agua que existe en la Tierra puede ser usada por los seres humanos. Se ha calculado (World Meteorological Organization, WMO, 1997) que la cantidad total de agua disponible de manera natural y accesible a los seres humanos es de 9,000 km³ por año y que se capturan 3,500 km³ en presas y otros almacenamientos, para alcanzar un total de 12,500 kilómetros cúbicos.

Las estimaciones de cuánta agua se usa actualmente son variables. Según Biswas (1992), el consumo total en el año 2000 sería de alrededor de 5,200 km³, como se ve en la ilustración 1, mientras que el World Water Council (WWC) acepta un valor de 3,900 km³. De las extracciones, 70.1% corresponde a la agricultura, 9.9% a uso municipal y 20.9% a uso industrial. Debido a la baja eficiencia en el uso del agua en la agricultura y en las ciudades, una parte importante del agua extraída vuelve a los sistemas naturales. Como consecuencia, cuando se trata de consumo, la agricultura dispone de 93.4% del agua, la industria de 3.8% y el uso municipal de 2.7%, como puede apreciarse en la ilustración 2.

El agua disponible en el mundo está distribuida de manera muy desigual. Sólo el río Amazonas, por ejem-

plo, dispone de 16% del escurrimiento global. Las zonas áridas y semiáridas, en cambio, que representan 40% de la superficie terrestre, disponen únicamente de 2% del escurrimiento.

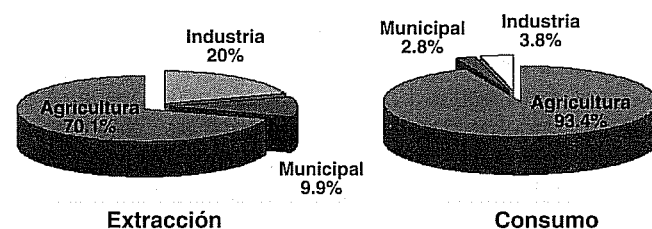
No obstante el elevado consumo de agua que reflejan estas cifras, una quinta parte de la población mundial no tiene acceso al agua potable y más de la mitad de la población no cuenta con servicio de saneamiento.

Según el pensamiento sistémico desarrollado en la Quinta Disciplina, uno de los errores más comunes en el análisis de sistemas es la "fijación en los datos". Se deben buscar patrones y no sólo datos. En este sentido, si se observa nuevamente la ilustración 1, se advertirá que la extracción de agua creció en el siglo XX aproximadamente diez veces, mientras que en ese mismo periodo la población mundial creció de 1,650 millones a 6,060 millones de habitantes (Organización de las Naciones Unidas, ONU, 1998), es decir, sólo 3.6 veces. A principios del siglo XX se extraían 303 km³ por cada mil millones de habitantes y al final del siglo esa cantidad aumentó a 825 km³ por cada mil millones de habitantes. La razón parece ser el incremento en los niveles de vida de los seres humanos, pero en cualquier caso es un patrón a tomar en cuenta para las previsiones futuras de demanda. La demanda per cápita tiende a aumentar.

La productividad en el uso del agua de riego, de forma global, no ha aumentado como se quisiera. Así, conforme a datos de la ONU (WMO, 1997), en el siglo pasado la superficie bajo riego aumentó de 50 a 250 millones de hectáreas; mientras que el consumo de agua en ese ámbito pasó de alrededor de 400 km³ a 2,500 km³/año. Es decir, la superficie bajo riego creció cinco veces, mientras que el consumo lo hizo 6.25 veces.

Por otra parte, la contaminación de los recursos hidráulicos hace que enormes cantidades de agua no puedan reutilizarse o sólo se puedan emplear para propósitos muy limitados. De acuerdo con la ONU y con consideraciones del autor, algunos de los principales problemas ocasionados por la contaminación del agua son los siguientes:

Ilustración 2. Extracción y consumo globales por sectores (elaborada con datos de WMO, 1997).



² Asit Biswas, en este reciente artículo, dice que: "Es probable que el manejo del agua cambie más en los próximos 20 años, que en los últimos 2000".

- El consumo humano de agua contaminada es una de las principales causas de enfermedades y muerte.
- El incremento de nitrógeno y fósforo en el medio acuático ha acelerado el crecimiento de algunos tipos de algas, la eutroficación y las malezas acuáticas.
- Se registra contaminación de las fuentes de agua subterránea.
- Existen en el ambiente 100,000 compuestos químicos artificiales y sólo 2% de ellos cuentan con estudios toxicológicos.
- Se registra una creciente contaminación por metales pesados.

A los anteriores, conviene añadir:

- Graves daños al medio ambiente.
- Incapacidad o graves limitaciones para el reúso del agua.

El panorama nacional es semejante. En México, el promedio de agua que se precipita en el territorio es de 1,519 km³, correspondiente a una media de 775 mm. Si se restan la evapotranspiración (1,106 km³) y el agua que se entrega a los Estados Unidos en el río Bravo (0.5 km³), y se suma el agua que ingresa a nuestro territorio de cuencas en Guatemala y los Estados Unidos (49.8 km³), se tiene una disponibilidad natural de 463 km³, de los cuales 410 km³ corresponden a escurrimientos y 53 km³, a recarga de acuíferos.

Conforme a cifras de la Comisión Nacional del Agua (CNA) (Semarnap, 2000), en 1998 se extrajeron en México 79.4 km³, de los que 51.2 km³ correspondieron a agua superficial y 28.2 km³, a agua subterránea. Como se ve, la extracción es mucho menor que la disponibili-

dad, pero, desafortunadamente, estas cifras globales son engañosas.

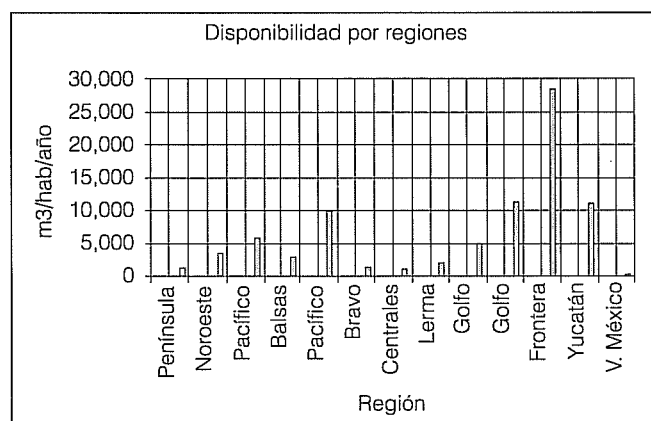
En las regiones de la frontera sur y el golfo centro se concentra 55% de la disponibilidad total. En la ilustración 3 se observa la disponibilidad per cápita en cada región. Cuando este valor es inferior a 1,700 m³/habitante por año, se considera que existe estrés hídrico. Cuatro regiones se encuentran ya en estas condiciones y debido al aumento de la población otras más podrían estar pronto en la misma situación. Sobresale por sus características severas el valle de México, que se clasifica como región de grave estrés hídrico, con sólo 227 m³ por habitante y por año (Gleick, 2001)³. En la ilustración 4 se observan los acuíferos sobreexplotados del país, de los cuales actualmente se extrae el 50% del agua subterránea que abastece a las ciudades. Se registran acuíferos contaminados por intrusión salina en los estados de Baja California, Baja California Sur, Colima, Sonora y Veracruz.

El uso agrícola continúa siendo el mayor consumidor, con alrededor de 76% de las extracciones. La eficiencia en el uso del agua de riego es aún muy baja, pues se estima en 46%, en promedio (CNA, 2000). La superficie total de riego es de 6.3 millones de hectáreas, de las cuales 54% corresponden a 81 distritos de riego y 46%, a 39 mil unidades de riego. No obstante, la superficie cosechada, por efectos de carencia de agua, de tecnología o de financiamiento, ha sido menor en los últimos años, que el total disponible. Asimismo, un porcentaje aún indeterminado del total está afectado por salinidad.

Una vez más, las tendencias son interesantes, ya que la superficie sembrada por habitante no ha variado: en 1991 fue de 0.24 ha/hab. y en 1998, de 0.23 ha/hab. Esta comparación ilustra un problema central del futuro: incrementar la productividad, en lugar de la superficie bajo riego, para abastecer la creciente demanda de alimentos. Sin embargo, la eficiencia de riego no podrá aumentarse significativamente si no se moderniza la tecnología de riego. Se ha encontrado que en los grandes sistemas de riego por gravedad, las eficiencias alcanzadas no pueden superar 70 por ciento.

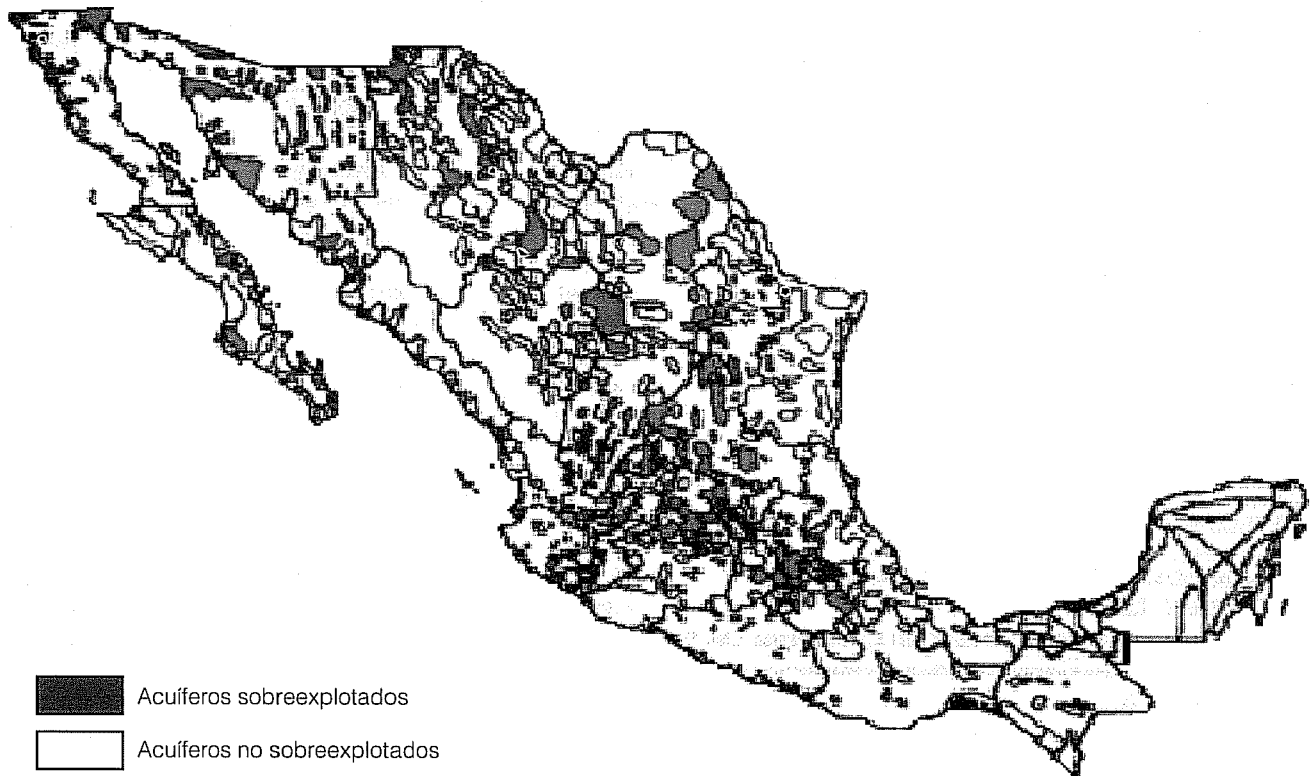
Otro de los problemas centrales del futuro será proveer de alimentos a una creciente población. Los rendimientos se han incrementado sólo ligeramente en los últimos cinco años, como se observa en la ilustración 5, pero requieren aumentar mucho más si se desea abastecer a 30 millones más de habitantes, con casi la misma superficie agrícola, en los próximos 25 a 30 años.

Ilustración 3. Disponibilidad per cápita de agua en México por regiones (construida con datos del Anuario Estadístico de Recursos Naturales 1999, de INEGI y Semarnap).



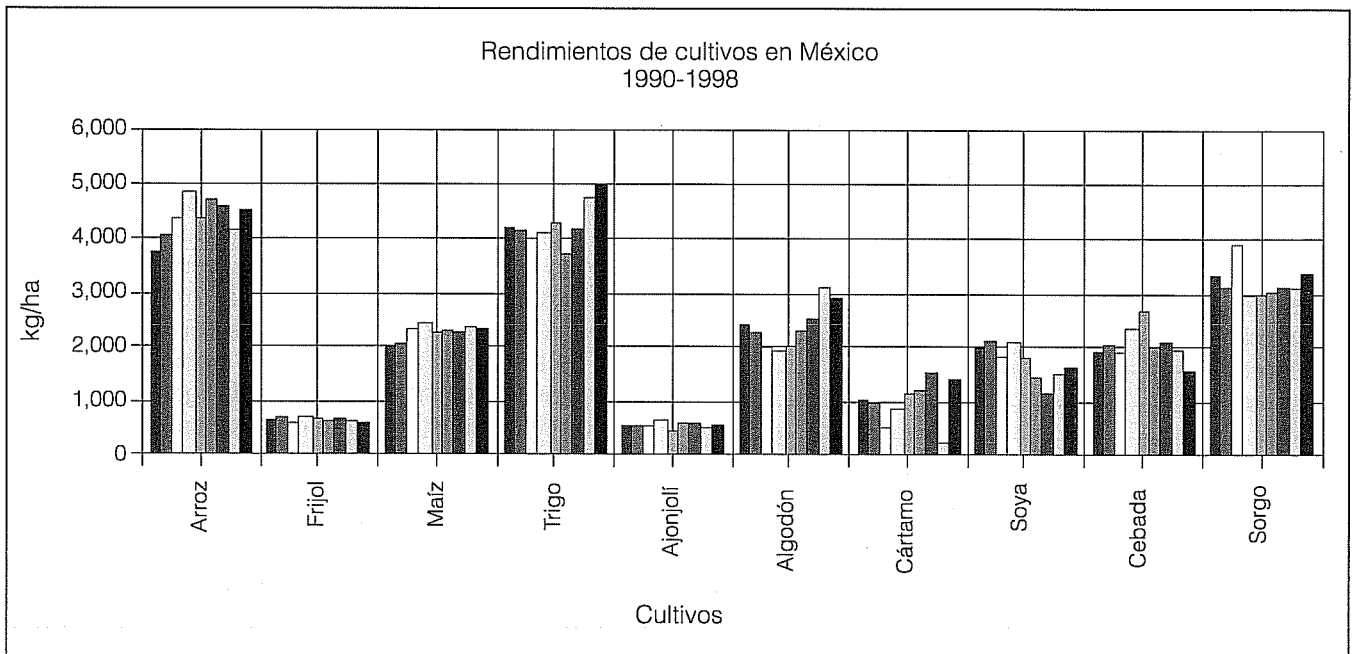
³ Y sin embargo, como ha hecho notar Peter H. Gleick (2001), el agua que se pierde por fugas en la ciudad de México sería suficiente para abastecer a Roma.

Ilustración 4. Acuíferos en México.



Fuente: Comisión Nacional del Agua, *Compendio básico del agua en México*, CNA, Semarnap, México, 1999.

Ilustración 5. Rendimientos agrícolas (construida con datos del *Anuario Estadístico de Recursos Naturales 1999*, de INEGI y Semarnap.



En el periodo de 1991 a 1998, las importaciones han crecido en valor, de 1,687.4 millones de dólares en 1991, a 4,280.6 millones de dólares en 1998 (esto es, 2.53 veces), lo que ha hecho necesario plantear en nuevos términos la balanza agropecuaria. Las exportaciones, por su parte, fueron de 1,876.8 millones de dólares en 1991 y de 3,435.7 millones de dólares en 1998 (es decir, se tuvo un crecimiento de 1.83 veces), con lo que la balanza, que en 1991 exhibía un ligero superávit de 189.4 millones de dólares, en 1998 registró un déficit de 844.9 millones de dólares. Los datos provienen del anuario estadístico del comercio exterior, preparado por un grupo de trabajo del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, del Banco de México, y de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

En cuanto al uso urbano, de acuerdo con cifras de la CNA, en 1998 había 12.99 millones de habitantes sin

agua potable, con lo que se alcanzó una cobertura de 84.67%. Según el *Compendio básico del agua* editado por la CNA, eso significa "población con acceso a agua entubada, en su propiedad o en un hidrante público". En cuanto al alcantarillado, la cobertura en 1998 fue de 72.5%, y según aclara el glosario del mismo compendio de 1999 de la CNA, eso implica porcentaje de la población cuya vivienda cuenta con un desagüe conectado a la red pública de alcantarillado, a una fosa séptica, a un río, lago o mar, o a una barranca o grieta.

En las ciudades, las fugas en conducción y redes de distribución son muy elevadas y oscilan entre 30 y hasta 50%. A estas pérdidas se suman la mala medición, falta de facturación y cultura del no pago, entre otras causas, de tal modo que los organismos operadores sólo cobran alrededor de 30% del agua que ingresan al sistema (Jaime Jáquez, 2001).

En cuanto a la calidad del agua, atendiendo a la clasificación del Índice de Calidad del Agua (ICA) que

Cuadro 1. Escala de clasificación de la calidad del agua para usos específicos, según su Índice de Calidad del Agua (ICA), (Semarnap, 2000).

ICA		Usos del agua						
Valor %	Criterio general	Abastecimiento público	Recreación general	Pesca y vida acuática	Industrial y agrícola	Navegación		
100	Excelente	No requiere purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	No requiere purificación	A C E P T A B L E		
90	Aceptable	Requiere purificación ligera			Aceptable, mas no recomendable		Aceptable, excepto para especies muy sensibles	Requiere purificación ligera para algunos procesos
80								
70								
60	Contaminado	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable, mas no recomendable	Dudoso para especies sensibles	No requiere tratamiento para uso en la industria			
50								
40	Fuertemente contaminado	Dudoso	Dudoso	Sólo organismos muy resistentes	Requiere tratamiento para uso en la mayor parte de la industria			
30	Inaceptable	Inaceptable	Evitar contacto con el agua			Inaceptable	Uso muy restringido	
20			Señal de contaminación	Inaceptable	Inaceptable			
10								
0								

Cuadro 2. Índice de calidad del agua en estaciones de medición de agua superficial por región administrativa de la CNA, 1998 (Semarnap, 2000).

Región	Fuertemente contaminada		Excesivamente contaminada	
	% ¹	Media ²	% ¹	Media ²
Península de Baja California	0	Na	37.50	38.50
Noroeste	6.50	48.55	9.76	30.28
Pacífico Norte	8.33	44.87	5.55	32.37
Balsas	4.87	48.77	6.09	28.50
Pacífico Sur	0	Na	0	Na
Río Bravo	10.81	46.01	5.40	32.50
Cuencas Centrales del Norte	0	Na	0	Na
Lerma Santiago Pacífico	11.53	44.59	24.36	33.35
Golfo Norte	0	Na	10.20	29.75
Golfo Centro	2.22	43.50	2.22	25.10
Frontera Sur	10.71	48.15	3.57	33.22
Península de Yucatán	10.00	50.00	0	Na
Valle de México	27.27	43.29	54.54	32.49
Nacional	6.2	45.84	10.27	31.75

¹ Porcentaje del número de estaciones de medición que se ubican en cada una de las categorías de calidad del agua del ICA.

² Promedio del ICA de las estaciones de medición consideradas en cada categoría de calidad del agua.

Na: no aplica.

Nota: la red de medición de la calidad del agua en cuerpos de agua superficiales incluye 393 estaciones en 225 ríos, 81 estaciones en 62 lagos y presas, dos estaciones en 13 estuarios o sitios costeros, y 15 estaciones en 15 sitios de descarga de aguas residuales.

Cuadro 3. Índice de calidad del agua en estaciones de medición de agua subterránea por entidad federativa, 1998 (Semarnap, 2000).

Entidad federativa	Fuertemente contaminada		Excesivamente contaminada	
	% ¹	Media ²	% ¹	Media ²
Baja California	0	Na	0	Na
Baja California Sur	0	Na	100	31.64
Campeche	100	44.08	0	Na
Colima	0	Na	0	Na
Comarca Lagunera	94.7	49.7	0	Na
Durango	33.33	46.74	0	Na
Guanajuato	0	Na	0	Na
Morelos	0	Na	0	Na
Nayarit	0	Na	0	Na
Quintana Roo	0	Na	100	25.58
San Luis Potosí	57.2	45.88	0	Na
Yucatán	50	49.9	0	Na
Zacatecas	85.71	46.3	0	Na

¹ Porcentaje del número de estaciones de medición que se ubican en cada una de las categorías de calidad del agua del ICA.

² Promedio del ICA de las estaciones de medición consideradas en cada categoría de calidad del agua.

Na: no aplica.

Nota: la red de medición de la calidad de aguas cuenta con estaciones en sólo doce entidades federativas y en la Comarca Lagunera. La red consta de 228 estaciones y 24 acuíferos.

se muestra en el cuadro 1, la CNA reporta que sólo 0.23% de las estaciones registran calidad del agua excelente; 6.85%, aceptable; 17.58%, levemente contaminada; 58.44%, contaminada; 6.62%, fuertemente contaminada, y 10.27%, excesivamente contaminada, como se puede observar. Es decir, que en 86% de los casos, en agua superficial requiere de tratamiento para su uso en abastecimiento público. Esto explica la preferencia por el agua subterránea, pero el resultado ha sido que muchos de los acuíferos para abastecimiento urbano (50%) están sobreexplotados.

En lo que hace a tratamiento de aguas residuales, en 1999 se tenía capacidad instalada para efluentes municipales de 67.5 m³/s, pero operaba 78% de las plantas, con un caudal tratado total de 42.4 m³/s, del cual sólo 29 m³/s cumplía con la norma de descarga. Es decir, solamente 12% del caudal de aguas residuales se trata adecuadamente (CNA, 2000).

Las condiciones a futuro

Los retos a futuro son enormes. De acuerdo con estimaciones del WWC (2000), si se mantienen las condiciones actuales, es decir, si se continúa procediendo como hasta ahora, para el año 2025, la mayoría de los países actualmente en desarrollo padecerán escasez

de agua. Por escasez económica se entiende la condición en la que el recurso es suficiente, pero los costos de utilizarlo no son accesibles para el país de que se trate (ilustración 6). En el caso de México, se enfrentaría una escasez física, es decir, la carencia real del recurso.

En la ilustración 7 se ve con mayor detalle el porcentaje de estrés hídrico estimado para el año 2025 por el WWC, en caso de mantenerse las actuales tendencias. El índice de estrés hídrico se calcula como la relación entre las extracciones y la capacidad total de las fuentes renovables en una cuenca determinada. Si se consume 40% del total de los recursos disponibles, se dice que una región está en alto estrés hídrico y si se usa 80%, el estrés será muy alto. En la misma ilustración se observa que una gran proporción de los países del hemisferio norte sufrirán de estrés hídrico alto y muy alto.

Una observación atenta revelará que México enfrentará un estrés hídrico muy alto en las cuencas del río Colorado y, en general, en toda la península de Baja California, en la cuenca del Bravo, en la del Lerma-Balsas, en la región lagunera y en el valle de México. En el resto del centro y norte del país, el estrés hídrico será alto. La situación de estas zonas de muy alto estrés hídrico en México será, como puede apreciarse en la ci-

Ilustración 6. Escasez de agua mundial en 2025, bajo el escenario de patrones actuales de manejo del agua (tomado de WWC, 2000, cuya fuente es el International Water Management Institute, <http://www.iwmi.org>).

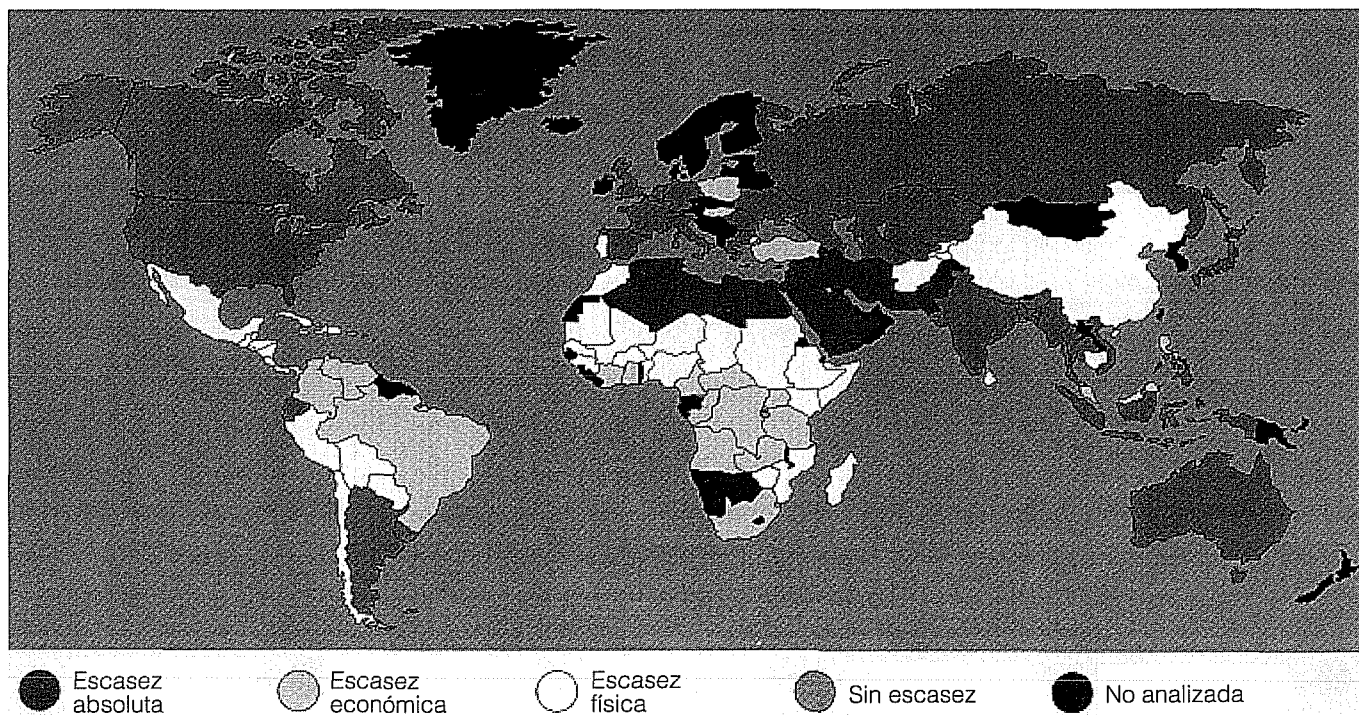


Ilustración 7. Estrés hídrico mundial en 2025, bajo el escenario de patrones actuales de manejo del agua (tomado de WWC, 2000, cuya fuente es el International Water Management Institute, <http://www.iwmi.org>).

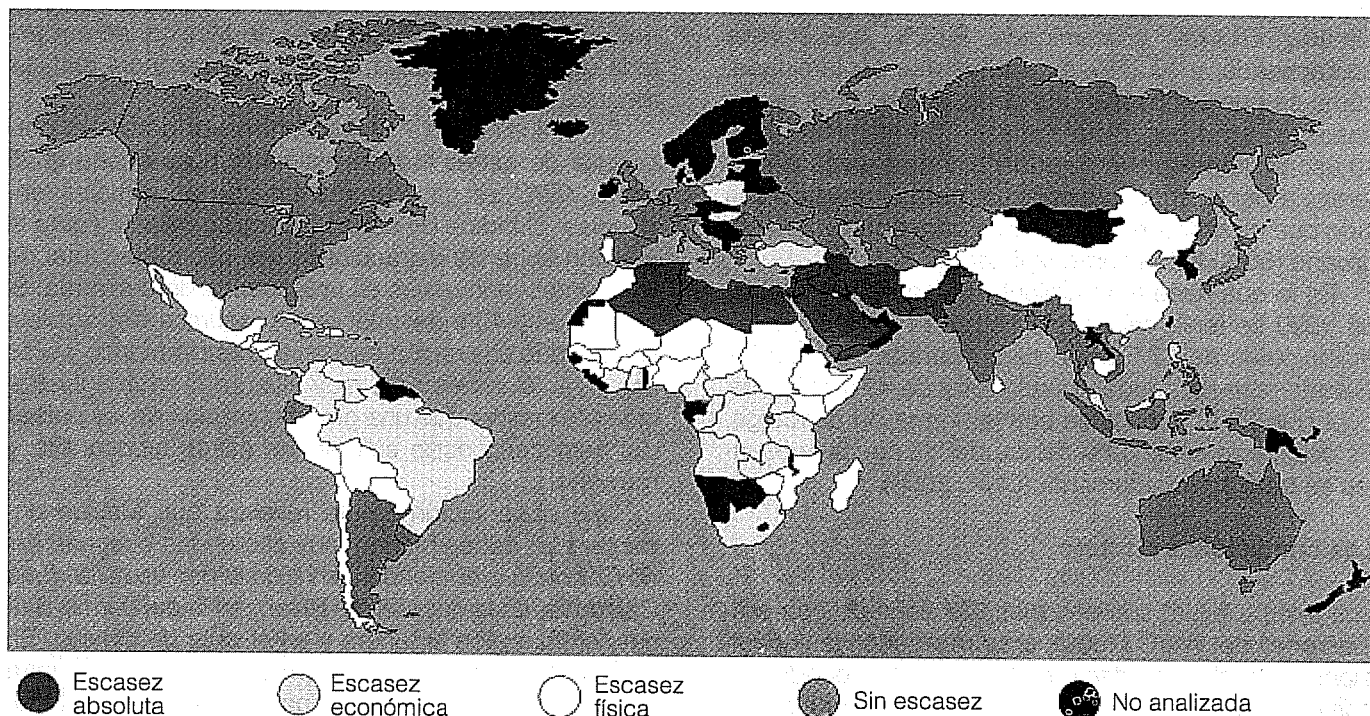


Ilustración 8. Déficit de producción de cereales en 2025, si prevalecen las prácticas actuales (tomado de WWC, 2000, cuya fuente es el International Water Management Institute, <http://www.iwmi.org>).

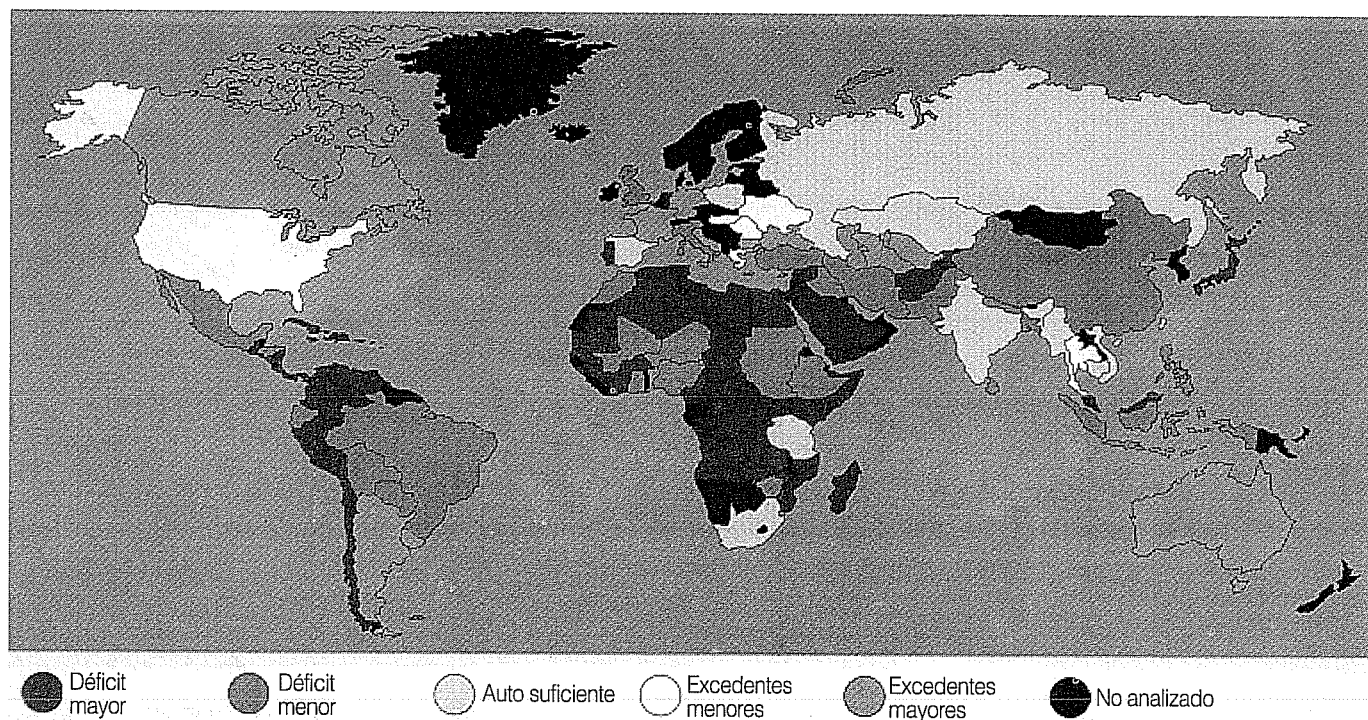
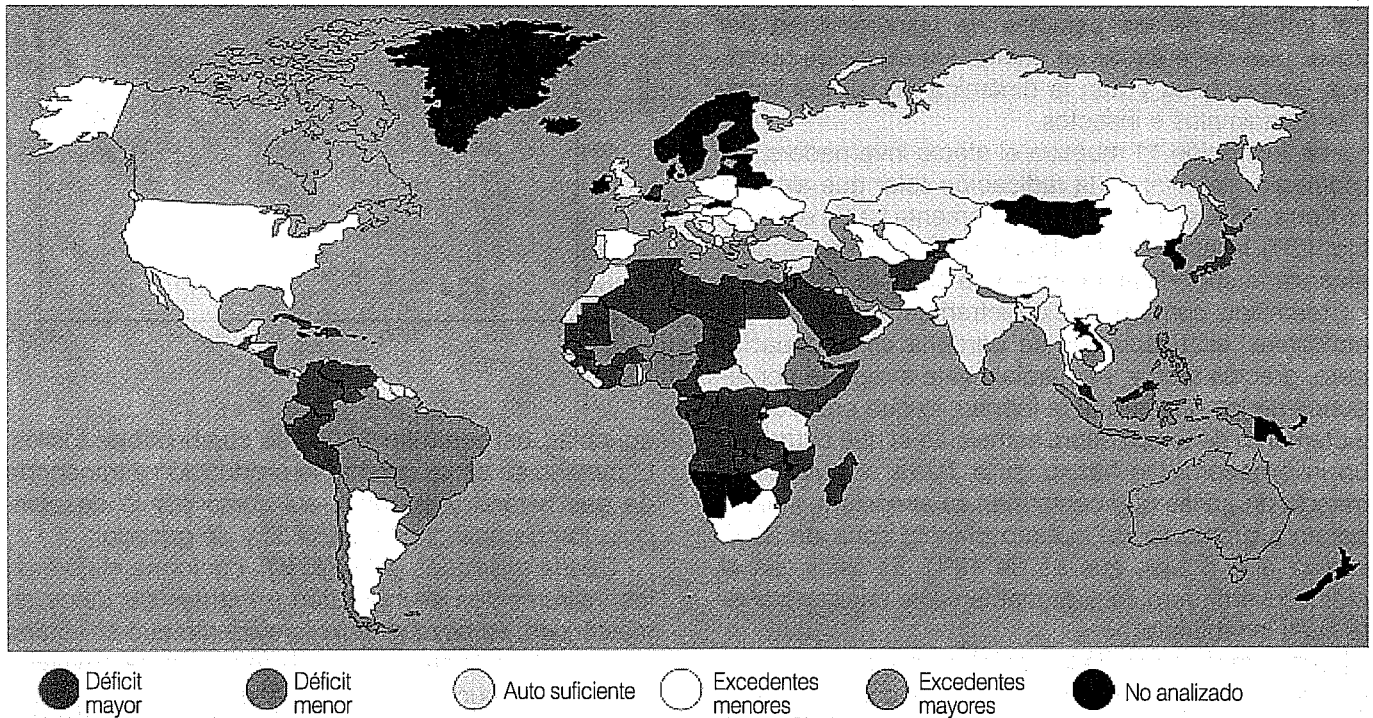


Ilustración 9. Producción de cereales en 2025, si se toman medidas recomendadas en tecnología, economía y participación del sector privado (tomado de WWC, 2000, cuya fuente es el International Water Management Institute, <http://www.iwmi.org>).



tada ilustración, semejante a las zonas áridas del norte de África y el Oriente Medio.

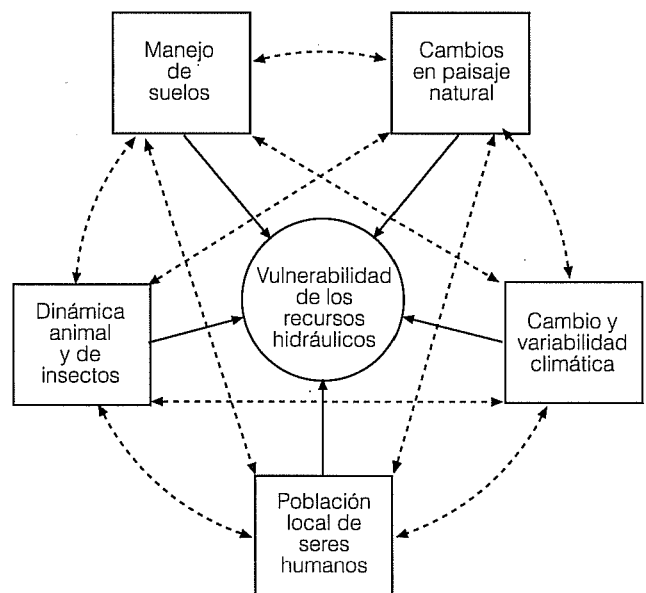
En lo que hace a la producción de cereales, si continúan las políticas y maneras actuales de administrar los recursos ambientales, en 2025 el mundo enfrentará un déficit en la mayoría de los países, México incluido. El déficit global de cereales en este escenario se estima en 200 millones de toneladas (ilustración 8). Pero este grave panorama puede evitarse a condición de que se hagan cambios importantes en la gestión de los recursos ambientales.

Si se toman en cuenta las recomendaciones del WWC, expresadas en la visión mundial del agua de las que se hablará más adelante, la situación será muy diferente, como se muestra en la ilustración 9. En ese escenario, habría en el mundo un superávit de 70 millones de toneladas de cereales y México, en particular, sería autosuficiente, sin embargo, lograr que la situación de los recursos alcance este escenario constituirá un arduo esfuerzo.

A estas circunstancias es necesario agregar una condición adicional: el cambio climático, que si bien no se está aún en condiciones de establecer con exactitud su magnitud, es posible determinar el grado de vulnerabilidad en cada región e indicar el tipo de efectos que produciría para prevenirlos o mitigarlos.

En la ilustración 10 se presenta un esquema de los aspectos que deben tomarse en cuenta para estudios de vulnerabilidad de recursos hidráulicos (Pielke y

Ilustración 10. Esquema para estudios de vulnerabilidad de recursos hidráulicos (Pielke y Guenni, 1999).



Guenni, 1999) y como puede observarse, es necesario incluir el efecto del calentamiento global en los escenarios de largo plazo. Conviene resaltar la integralidad del enfoque de los estudios de vulnerabilidad del agua, que debe tomar en cuenta los aspectos humanos, ambientales y aun la dinámica de las poblaciones de animales e insectos.

La ilustración 11 muestra el efecto invernadero. En promedio, del total de la radiación solar que alcanza la Tierra, 25% se refleja inmediatamente hacia el espacio; 25% la absorbe la atmósfera, y el 50% restante alcanza la superficie terrestre y la calienta. Este calor es reemitido como radiación infrarroja. Si no hubiera atmósfera, esta radiación se perdería en el espacio, pero, gracias a ésta, es parcialmente atrapada por algunos de los gases que la forman, lo que produce un incremento de temperatura semejante al que ocurre en un invernadero. De hecho, si la Tierra no tuviese la mezcla de gases que conforman su atmósfera, la temperatura promedio de nuestro planeta sería de 33°C inferior a la actual, que es de 15°C. Es decir, sin el efecto invernadero, muy probablemente nuestro planeta sería inhabitable.

Los componentes de la atmósfera que tienen la propiedad de atrapar energía infrarroja se conocen como gases de invernadero. Los principales son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y el ozono. La mayor parte de estos gases se encuentra de manera natural en la atmósfera, sin embargo, su presencia se ha incrementado en grandes cantidades desde la revolución industrial.

La composición de los gases de invernadero en la atmósfera no había cambiado sustancialmente durante los últimos diez mil años, no obstante, desde la revolución industrial se han vertido a la atmósfera enormes cantidades de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, principalmente (ver ilustración 12). El dióxido de carbono se libera a la atmósfera al quemarse combustibles fósiles, basura, bosques y, en general, cualquier sustancia de origen orgánico. El óxido nitroso se emite a la atmósfera por diversas actividades industriales y

Ilustración 11. Efecto invernadero.

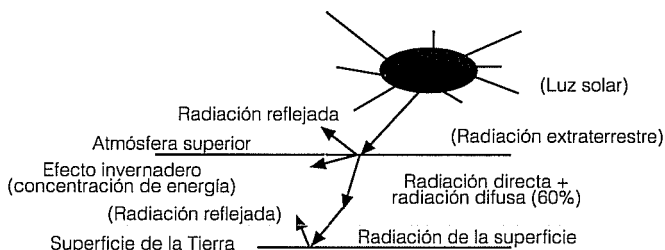
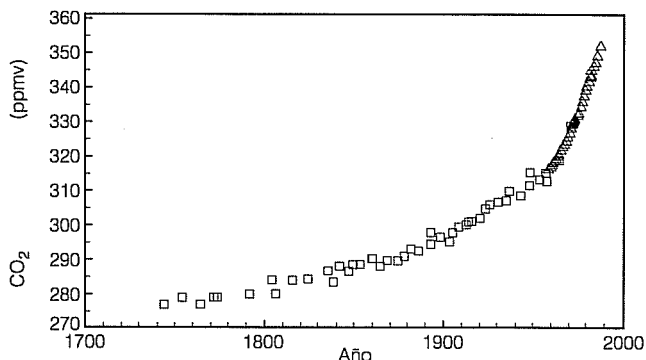


Ilustración 12. Variación observada en CO₂, principal gas de invernadero.



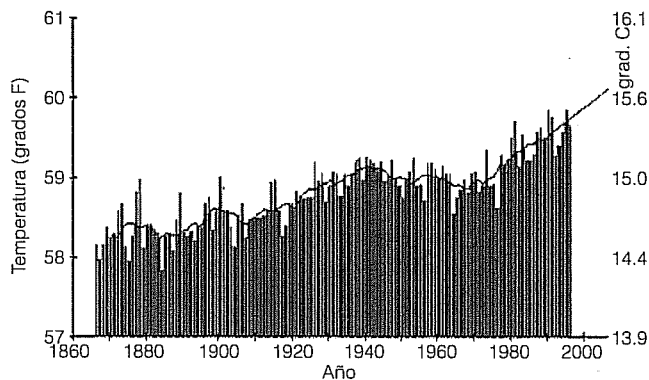
agrícolas, así como por el uso de combustibles fósiles. El metano se emite durante la producción y transporte de gas natural y petróleo, así como por la descomposición de desechos orgánicos y de ganado.

Desde mediados del siglo XX, conforme mejoraron los instrumentos de medición y manejo de datos atmosféricos, empezó a hacerse evidente que se estaba registrando un incremento en la temperatura promedio del planeta, mucho mayor que el explicable como una variación natural. Al observarse al mismo tiempo el incremento en los gases de invernadero, empezó a ser evidente que podría haber una conexión entre ambos fenómenos. Se desarrollaron modelos de pronóstico global de la atmósfera, en los que se simuló el efecto en la atmósfera de los incrementos observados desde la revolución industrial en los gases invernadero. El resultado demostró que, en efecto, la atmósfera podría calentarse sustancialmente durante las últimas décadas del siglo XX y durante todo el siglo XXI.

Desde mediados del siglo XIX, de acuerdo con las mediciones de temperatura de superficie del planeta, éste se calentó en promedio entre 0.3 y 0.6°C. Como se aprecia en la ilustración 13, hubo un claro periodo de calentamiento entre 1920 y 1940, y una vez más, desde 1980 hasta ahora. De hecho, tal como se predijo con los modelos de calentamiento global elaborados en los años ochenta, el proceso de calentamiento ha venido incrementándose, de tal modo que los diez años más calurosos del siglo XX se registraron en los últimos tres lustros de ese siglo, y del total de incremento de temperatura registrado, la mitad ha ocurrido durante los últimos treinta años. Se han medido disminuciones en la cobertura de nieve de todas las montañas del hemisferio norte y en los icebergs en el océano Ártico.

En lo que hace a las condiciones futuras, en 1988 la Organización Meteorológica Mundial y el Programa

Ilustración 13. Incremento observado de temperatura promedio de la Tierra.



de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente crearon el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). El objetivo de este organismo ha sido desde entonces evaluar la información disponible sobre cambio climático, evaluar los impactos ambientales y socioeconómicos del cambio climático, y formular estrategias de respuesta. El IPCC convocó a un muy numeroso grupo de investigadores de reconocido prestigio, quienes se organizaron en dos grupos de trabajo, uno de los cuales se dedica al estudio de los efectos del cambio climático. Los aportes de estos grupos han dejado claro que el calentamiento global es un proceso en marcha, cuyos resultados cambiarán significativamente la condición actual de los recursos naturales en muchos sitios del planeta.

Este panel de investigadores publicó dos extensos estudios sobre los probables efectos del cambio climático, el primero de ellos en 1991 (IPCC, 1991) y el segundo, con mayor información y nuevos datos, en 1995 (IPCC, 1995). Especialmente en el segundo de ellos se afirma con mayor claridad que el calentamiento global ya está ocurriendo. Más recientemente, en 1997 (IPCC, 1997), se hizo público un estudio de efectos regionales.

En el escenario más probable, que resulta un promedio entre las condiciones ideales y las menos favorables, las proyecciones de los modelos climáticos predicen un aumento de la temperatura media anual del planeta de entre 1 y 3.5°C. Asimismo, se prevén cambios drásticos en los patrones de precipitación, de tal modo que en algunos sitios lloverá más y en otros menos. También se espera un incremento del nivel medio del mar hasta de 95 cm. Estos valores, sin embargo, son promedios globales y anuales, por lo que en algunos sitios serán aun mayores y en otros, menores.

Desde el punto de vista de los recursos hidráulicos, el calentamiento global significará una intensificación

del ciclo hidrológico. Se incrementarán la escasez y la sequía en las zonas áridas y semiáridas de mundo, de manera que los países y regiones que ya hoy son vulnerables a las variaciones climáticas, lo serán aún más en el futuro. Es muy probable también que el problema de las inundaciones se incremente en las regiones templadas y tropicales; el IPCC estima que será necesario revisar la seguridad de las presas en esas regiones, al considerar que las avenidas de diseño serán mayores.

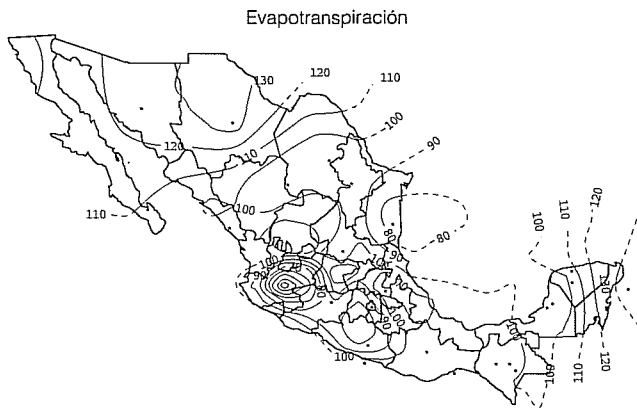
El panorama para la producción de alimentos tampoco es halagüeño. Las proyecciones del IPCC pronostican que a escala global la producción de alimentos podría ser suficiente, pero la distribución de estos efectos tampoco será uniforme, y se estima que habrá una grave escasez en algunas regiones. Suponiendo un abastecimiento suficiente de agua, las zonas de riego en las regiones de latitudes medias y altas podrán tomar ventaja de uno de los pocos efectos positivos del cambio climático: el efecto fertilizante del dióxido de carbono en la atmósfera. En esos casos, se podría registrar un aumento de la productividad. No será así en los trópicos, donde ya muchos cultivos se encuentran cerca de su nivel de tolerancia a la temperatura y se espera, por lo tanto, que al aumentar ésta disminuyan su rendimiento. En las regiones que dependen del temporal y en las que la lluvia puede disminuir, la agricultura podría resultar gravemente afectada.

De acuerdo con el más reciente reporte del IPCC (1997), en el que se aborda la problemática regional, en América Latina el calentamiento global exacerbará la escasez periódica que ya ocurre en zonas áridas y semiáridas. Por razones sociales y económicas, los países en desarrollo serán especialmente sensibles a este aumento de periodos de escasez.

Asimismo, según estimaciones del IPCC, hay indicaciones de que el problema de las inundaciones va a aumentar en muchas regiones templadas y húmedas, y será recomendable revisar los diseños de embalses y diques. En lo que se refiere a la producción de alimentos, se podrán beneficiar del efecto fertilizante del dióxido de carbono aquellas regiones de América Latina donde se cuente con agua suficiente, en las latitudes medias y altas. Respecto a las zonas de agricultura de temporal, en los trópicos y subtrópicos de América Latina, el IPCC estima que lo más probable es que disminuya el rendimiento agrícola.

Hay pocos estudios de los efectos del calentamiento global en los recursos hidráulicos de México debido a la falta de recursos suficientes para llevarlos a cabo. En el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), utilizando un modelo de simulación biológica (DSSAT), calibrado en Chihuahua, con el apoyo de los agriculto-

Ilustración 14. Evapotranspiración potencial, cultivo de referencia, en condiciones actuales para el mes de agosto (Martínez-Austria *et al.*, 1998).



Isóneas (mm) para condiciones presentes, mes de agosto

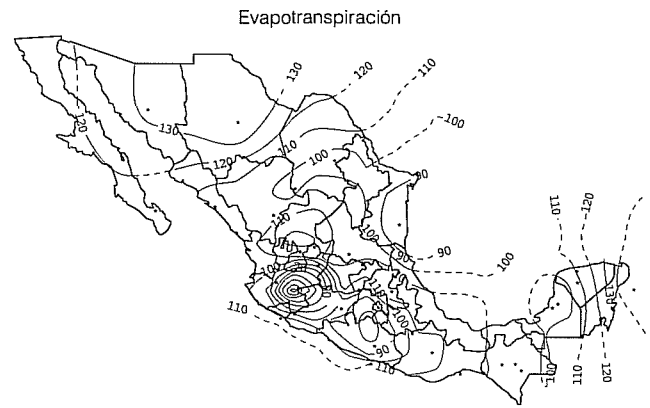
res de Delicias, durante un ciclo agrícola se analizaron los efectos del calentamiento global en ese sitio y en el distrito de riego del Yaqui, Sonora, en la producción de maíz. Se encontró que podría aumentar la producción si hubiese agua suficiente, sin embargo, las necesidades hídricas de los cultivos se incrementarían de manera importante, ya que se requerirían 350 Mm³ adicionales (Mundo y Martínez Austria, 1994), a los que actualmente se requieren para la producción de maíz en el distrito.

Poco después se realizó un estudio para todo el país, para lo cual se efectuó una adaptación al método de Penmann. En este estudio se compararon la evapotranspiración calculada con datos actuales de los observatorios meteorológicos de México, en contraste con la resultante de diversos escenarios de calentamiento global. En las ilustraciones 14 y 15 se muestran la evapotranspiración actual y la modificada por un calentamiento de 3°C durante el mes de agosto. Se determinó que las necesidades hídricas de los cultivos se incrementarán en toda la región centro y norte del país. También se observaron incrementos de la evapotranspiración potencial en el noreste y costa norte del Pacífico (Martínez Austria *et al.*, 1998).

Es conveniente destacar que estos resultados son indicativos. Aun así demuestran la vulnerabilidad de México en la producción agrícola, pues los incrementos en necesidades hídricas difícilmente se verán compensados con incrementos en la disponibilidad de agua. Sería conveniente iniciar estudios sobre los efectos en el escurrimiento y otras variables hidrológicas, así como en la infraestructura hidráulica.

El impacto del calentamiento global dependerá en gran medida de la capacidad de los administradores

Ilustración 15. Evapotranspiración potencial, cultivo de referencia, para escenario de cambio climático, para el mes de agosto (Martínez-Austria *et al.*, 1998).



que luego utiliza cada país para sus pronósticos locales. Otra importante razón para el tratamiento mundial del problema es que las fuentes de financiamiento para el cuidado del medio ambiente y para el desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento son, en buena medida, internacionales.

En este contexto han surgido dos importantes organizaciones mundiales para promover una nueva gestión del agua: el Global Water Partnership (GWP) y el World Water Council (WWC).

Un aspecto importante a observar es que éstas son organizaciones de organizaciones. Convendría pensar, para México, en un Consejo Nacional del Agua, como un órgano consultivo en el que estuvieran representadas las organizaciones no gubernamentales más importantes del agua, como la Asociación Mexicana de Hidráulica, la Asociación Nacional de Especialistas en Irrigación y el Consejo Nacional Agropecuario, entre otras.

La visión mundial del agua

Reconociendo que el problema del agua es global, el WWC ha conducido un ejercicio para crear la visión mundial del agua en un proceso en el que se consultó, utilizando las técnicas modernas de comunicación, a prácticamente todas las organizaciones no gubernamentales vinculadas con este recurso, de importancia nacional e internacional.

La visión mundial del agua para el año 2025, a un tiempo sencilla y ambiciosa, es la siguiente (WWC, 2000):

Todo ser humano debe tener acceso seguro al agua para satisfacer sus necesidades de consumo, saneamiento y producción de alimentos y energía a un costo razonable. El abastecimiento de agua para la satisfacción de estas necesidades básicas debe realizarse en armonía con la naturaleza.

Para México, un país que ya tiene importantes avances al respecto, alcanzar esta visión requerirá, de todas maneras, de un gran esfuerzo. Por ejemplo, en abastecimiento de agua potable se sabe que existen hoy día alrededor de 14 millones de habitantes que carecen de ella, y para el año 2025 habrá otros 25 o 30 millones de nuevos mexicanos. En cuanto al saneamiento, para alcanzar la visión planteada se requerirá abastecer a 36 millones de personas más con agua potable, esto sin mencionar la necesidad de mejorar la calidad del servicio. La CNA estima que para alcanzar en el año 2025 un escenario deseable se requerirán inversiones aproximadas a los 725 mil millones de pesos, lo que es una cifra mucho mayor que la que se alcanzaría si se mantienen las actuales tasas de inversión destinadas al sector agua (CNA, 2000).

Para lograr la visión mundial del agua, los expertos de todo el mundo han propuesto cinco condiciones mínimas por cumplir:

1. Involucrar a todos los actores interesados en la toma de decisiones. Esto significa no sólo escuchar sus puntos de vista, sino lograr que sus argumentos efectivamente influyan en la toma de decisiones. Todos aquellos miembros de una comunidad cuya vida, personal o social, se vea afectada por el manejo del agua deben ser parte de la decisión sobre la gestión del recurso.

2. Avanzar hacia el pago del costo total de los servicios. Los servicios a bajo costo han dado lo siguiente por resultado: incapacidad de abastecer a muchas comunidades; deterioro de la infraestructura, baja calidad del servicio, desperdicio, descapitalización de las empresas de agua y fuga de especialistas a otras disciplinas, donde pueden cobrar mejores honorarios. Cobrar el costo de los servicios permitirá revertir estas tendencias, pero dicha política debe ir acompañada de una estrategia de subsidios claramente dirigida sólo a aquéllos que en efecto no pueden pagar el costo del agua. El costo de los servicios de agua debe incluir el saneamiento y el mantenimiento de equipos e infraestructura, especialmente en el caso de riego, que depende de una infraestructura mayor.

Es una lastimosa paradoja que con la política de bajos precios los beneficiados resulten ser los de mayores recursos económicos, que disponen de un buen servicio y consumen mayores cantidades de agua, mientras los pobres no tienen acceso al agua entubada, porque los organismos operadores no cuentan con recursos para construir nueva infraestructura. Así, los que menos tienen pagan mucho más por un poco de agua que les llega en pipas, o tienen que recorrer kilómetros para obtenerla. Esta situación no es tolerable y parte importante de la solución es una política de tarifas que cubra los costos del servicio, combinada con un sistema de subsidios que beneficie efectivamente a los más necesitados.

3. Incrementar el gasto en ciencia e innovación para el agua.

Las viejas soluciones y herramientas han dejado de tener el impacto deseable para la solución de los problemas del agua. Se requieren nuevos enfoques, un mejor conocimiento del agua en el medio ambiente y nuevas herramientas que faciliten el diseño, la operación y el mantenimiento de los sistemas. Todo esto se necesita en un plazo perentorio y la única manera de lograrlo es contar pronto con nuevas tecnologías y con un mejor conocimiento del agua y de su medio ambiente.

Para citar algunas necesidades tecnológicas urgentes: se precisan mejores métodos de medición, control y práctica del riego, herramientas para la gestión de los sistemas de riego, nuevas técnicas y variedades para incrementar la productividad del agua; sistemas de apoyo para la toma de decisiones y la participación social, así como modernos sistemas de información geográfica, de comunicación y divulgación, y nuevas técnicas propias de las ciencias sociales que hay que explorar, diseñar y probar en periodos inusualmente cortos. También hay que rediseñar y optimar los actuales sistemas de tratamiento de aguas, que hasta ahora han resultado ineficientes e insuficientes. Se deben revisar las técnicas de producción para pequeños productores, de menos de 2 ha, que son la mayoría en nuestro país (Postel, 2001)⁴, así como explorar técnicas innovadoras de cosecha de lluvia tanto para la producción de alimentos como para el abastecimiento de pequeñas comunidades rurales y, entre otros aspectos, se necesita mejorar el conocimiento del estado de los cuerpos de agua, subterráneos y superficiales, así como desarrollar y probar –en consenso con la sociedad– técnicas de ecorremediación para lagos, lagunas y acuíferos, que estén acordes con el desarrollo económico.

Como puede verse, la labor es enorme y sólo podrá tener éxito si se realiza de forma coordinada y con los recursos suficientes. Afortunadamente, los resultados logrados en otros países son muy esperanzadores. Por ejemplo, Gleick (2001) ha hecho notar que desde 1980 el consumo de agua per cápita en los Estados Unidos ha descendido, gracias a nuevas tecnologías que ayudan a conservarla en los hogares y la industria. Así, en los Estados Unidos, las extracciones de agua han disminuido en 20%, respecto al máximo registrado en 1980.

4. Cooperación en cuencas internacionales.

No hace falta decir la importancia que tienen en el mundo, y en particular en México, las cuencas binacionales o multinacionales. La única vía posible de gestión del recurso sin depredarlo es la cooperación.

5. Incremento masivo de la inversión en agua.

Todo lo que resta por hacer para alcanzar la visión mundial del agua sólo podrá concretarse si se cuenta con fondos suficientes. El WWC estima que durante los próximos 25 años deberá, al menos, doblarse la inversión en agua. Eso no se puede lograr sin una amplia

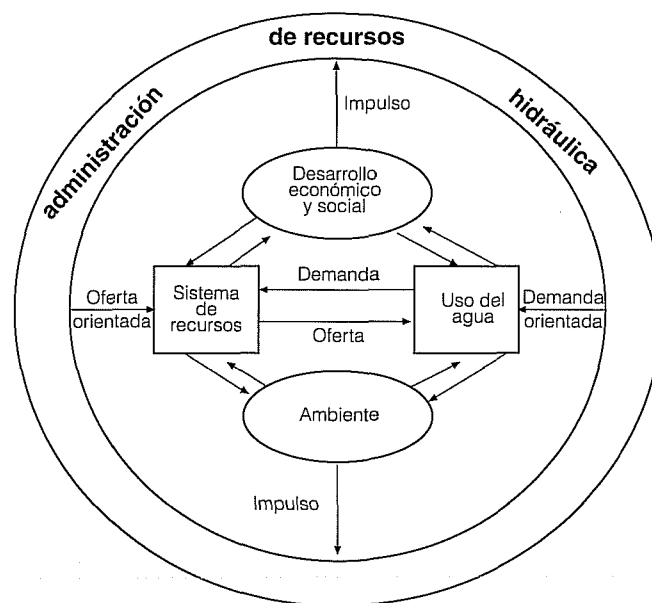
movilización social, que implicará profundos cambios al marco normativo, legal e institucional. Será necesario revisar, tanto en México como en otros países latinoamericanos, la legislación relacionada con el agua, modernizar institucionalmente el sector y buscar nuevos arreglos institucionales entre los tres niveles de gobierno, la iniciativa privada y la sociedad civil.

La gestión integrada u holística del recurso

Existe cada vez un mayor consenso en la necesidad de realizar una gestión holística de los recursos hídricos. Hay que confesar que el concepto es todavía muy difuso. En términos generales, se suele entender por gestión integral el considerar todos los factores que inciden en el proceso de gestión del agua, es decir, los aspectos ambientales, sociales, legales, de medio ambiente, y no sólo el aprovechamiento del agua, como era lo usual.

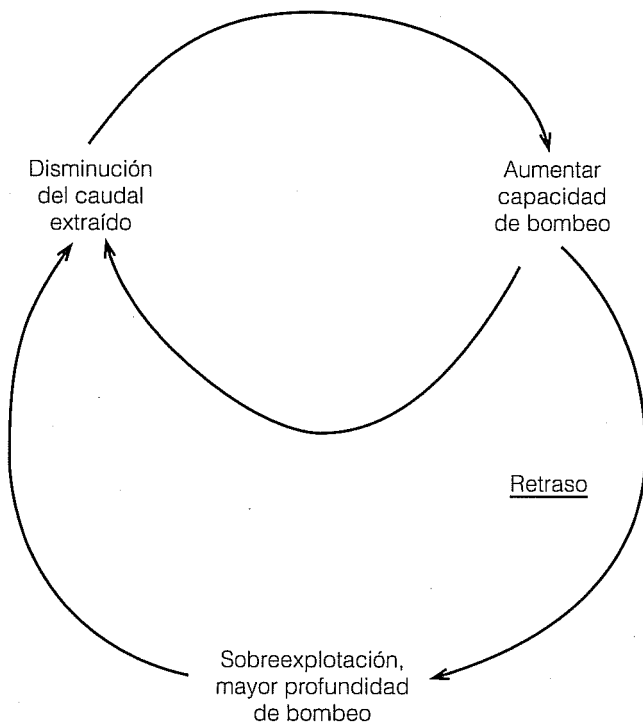
En la ilustración 16 (Plate, 1993) se muestra una representación de la gestión integral, en la que demanda y oferta interactúan con los aspectos ambientales, sociales y económicos, con los usuarios del agua y con el sistema hidráulico. Ya no se concibe al sistema hidráulico como un sistema cerrado, pensado para lograr un aprovechamiento del recurso, sino como un sistema abierto, en el que ocurren procesos dinámicos tanto en la sociedad a la que sirven los recursos, que cambia sus metas y perspectivas, como en el propio medio ambiente que se deteriora o mejora, según su interacción con la sociedad.

Ilustración 16. Representación de gestión integral.



⁴ Para percatarse de la importancia de las tecnologías para riego de pequeñas superficies, se recomienda leer el trabajo de Sandra Postel publicado recientemente en *Scientific American* (2001).

Ilustración 17. Arquetipo sistémico de retraso aplicado a la sobreexplotación de acuíferos.



Por otra parte, para conceptualizar y administrar sistemas complejos, hace falta usar técnicas modernas de gestión, como el pensamiento sistémico, conocido también en ciencias administrativas como la Quinta Disciplina, antes señalada.

Para ejemplificar la aplicación de las herramientas del pensamiento sistémico, en la ilustración 17 se muestra una aplicación del arquetipo de retraso a la sobreexplotación de acuíferos. Los arquetipos son modelos analógicos y éste, en particular, nos muestra que ante el problema de disminución del caudal en pozos, la solución de corto plazo consistente en incrementar la capacidad de bombeo, ya sea equipando más el pozo, o mejorando la eficiencia de las bombas, producirá en el largo plazo –con un cierto retraso– una situación aún peor de mayor sobreexplotación y profundidad de bombeo, con lo que el problema se presentará nuevamente con mayor agudeza. El pensamiento sistémico es uno de los más importantes elementos para la construcción de nuevos modelos de pensamiento.

Regresando al tema de la gestión integral de recursos, ésta se inició como una disciplina en el contexto de las industrias eléctrica y petrolera, donde ya cuentan con metodologías bien establecidas (Beecher, 1995). Sin embargo, se ha encontrado que no se pueden adaptar fácilmente a la gestión del agua. En lugar

de eso, el manejo integrado del agua suele presentarse, por ahora, no como una metodología, sino como una serie de "principios fundamentales". Pero aun en éstos no hay un acuerdo universal, sino varias versiones de ellos. El International Water and Sanitation Centre (IRC) (Visscher *et al.*, 1999) propone los siguientes principios para la gestión integral de los recursos hidráulicos:

- Es esencial la conservación de las fuentes de agua y de las cuencas de captación.
- La asignación del agua debe realizarse con acuerdo de todos los actores, en un marco nacional.
- La gestión debe realizarse en el nivel más local posible.
- La construcción de capacidades es la clave de la sustentabilidad.
- Se requiere la participación de todos los actores.
- Es esencial el uso eficiente del agua.
- El agua debe tratarse como un bien económico y social.
- Es importante impulsar un balance de género.

La Oficina Internacional del Agua de Francia (Donzier, 2000), por su parte, propone como los principios fundamentales para una gestión moderna del agua, los siguientes:

- Una visión global e integrada del recurso.
- Clarificar las responsabilidades.
- Organizar adecuadamente a escala de las grandes cuencas hidrográficas y de los acuíferos.
- Participación directa y activa de las diferentes administraciones y colectividades territoriales, a través de consejos y parlamentos del agua.
- Luchar contra el despilfarro y prevenir la contaminación permanente o accidental.
- Aplicar el principio "usuario contaminador-pagador".
- Crear nuevas capacidades de formación de recursos humanos.
- Mejorar el conocimiento sobre el problema.

Es concebible que no exista una única lista, de valor universal, de los principios de la gestión integrada, porque las prioridades cambian de un país a otro. En México convendría elaborar un enunciado propio de principios fundamentales de la gestión integrada, tomando en cuenta el marco legal y la organización social e institucional de nuestro país (Mestre, 1997; Mestre *et al.*, 1994, y Martínez Austria y Hansen, 2000).

Sin embargo, todos estos conceptos sobre la necesidad de la gestión integral de los recursos han pe-

netrado en el sector hidráulico de todo el mundo solamente de manera superficial. A instancias de la ONU, el IRC (Visscher *et al.*, 1999) realizó una evaluación en proyectos de abastecimiento de agua y saneamiento en África, Asia y Sudamérica, que nominalmente habían incorporado la gestión integral. El resultado, en términos generales, fue que los principios del manejo integrado de los recursos son aceptados internacionalmente, pero no son adoptados en la práctica. Han afectado, como otros conceptos, más el campo de la retórica que el de los hechos.

Así, a pesar de la urgencia de tomar acciones para lograr los cambios en la gestión descritos hasta aquí, el cambio más importante, que debe preceder a cualquier otro, es precisamente la modificación de la manera de conceptualizar los problemas y los enfoques de solución; en una palabra, en los paradigmas que norman la visión del mundo y la actuación de los responsables y participantes en la gestión del agua (Gleick, 2001)⁵.

A principios del siglo pasado, en el campo de la física ocurrió una situación semejante a la que se tiene hoy en día con las disciplinas del agua. Se enfrentaron los viejos paradigmas de la física clásica con el nuevo paradigma de la mecánica cuántica. Al final, venció la mecánica cuántica, pero Paul Dirac, uno de los físicos más destacados de esta corriente, hizo notar que el cambio prácticamente tomó una generación de profesionales.

En el caso del agua no se puede esperar un cambio generacional. Los actuales profesionales del agua son quienes deberán conducir el cambio. Ello supondrá un enorme esfuerzo de formación de recursos humanos, capacitación y actualización, que obligará a formar un nuevo profesional con conocimientos en disciplinas que tradicionalmente se han mantenido separadas de la educación formal de los ingenieros, tales como ecología, biología, conservación de recursos naturales, ciencias administrativas, ciencias sociales, economía y principios legales del agua. Será necesario acelerar mucho más la evolución, que ya se está dando, de ingenieros hidráulicos tradicionales hacia nuevos profesionales del agua.

Recibido: 13/02/2001

Aprobado: 28/02/2001

Referencias

- Beecher, J.A., "Integrated Resource Planning. Fundamentals", *Journal AWWA*, junio, 1995, pp. 34-48.
- Biswas, A.K., "Sustainable Water Development: A Global Perspective", *Water International*, vol. 17, núm. 2, 1992, pp. 68-80.
- Biswas, A.K., "Water Crisis. Current Perceptions and Future Realities", *Water International*, vol. 24, núm. 4, 1999, pp. 363-367.
- CNA, *Compendio básico del agua en México*, Comisión Nacional del Agua, México, 1999, 54 pp.
- CNA, *El agua en México: retos y avances*, Comisión Nacional del Agua, México, octubre, 2000, 161 pp.
- Donzier, J.F., "Las tendencias en la gestión moderna del agua", *Primera reunión nacional de Consejos de Cuenca*, México, 2000.
- GWP, "Hacia la seguridad hídrica. Un marco de acción", Secretaría del Global Water Partnership, Estocolmo, 2000, 12 pp.
- Gleick, P.H., "Making Every Drop Count", *Scientific American*, febrero, 2001, pp. 28-33.
- IPCC, "Climate Change: Science, Impacts and Policy", *Proceedings of the Second World Climate Conference*, Jäger J. y H.L. Ferguson (editores), World Meteorological Organization, Oxford University Press, 1991, 539 pp.
- IPCC, *Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*, WMO, PNUD, Oxford University Press, 1995, 878 pp.
- IPCC, "Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas", página Web del IPCC, 1997, 16 pp.
- Jaime Jáquez, C., intervención ante la Comisión de Asuntos Hidráulicos de la Cámara de Senadores, diario *Reforma*, México, 27 de enero de 2001, pág. 9-A.
- Martínez Austria, P., L. Hernández y M.M. Mundo, *Global Warming Effects on the Water Balance in Mexico*, 7th International Conference on Computers in Agriculture, Florida, octubre, 1998, ASAE, The Society for Engineering and Agricultural, Food and Biological Systems.
- Martínez Austria, P., A.M. Hansen, "The Role of Technology in a Holistic Approach to Water Quality Conservation Basins: the Lerma-Chapala Case", *Water International, Official Journal of the International Water Resources Association*, 2000.
- Mestre, E., L. León y P. Martínez Austria, "Integral Approach to Water Quality Conservation in Basins", *International Journal of Water Resources Development*, vol. X, núm. 3, 1994.
- Mestre, E., "Integrated Approach to River Basin Management: Lerma-Chapala Case Study-Attributions and Experiences in Water Management in Mexico", *Water International*, vol. XXII, núm 3, 1997, pp. 140-152.

⁵ Peter Gleick (2001) ha hecho notar que una dificultad importante es que "prevalecen viejas ideas entre los planificadores del agua" y que "resolver los problemas básicos mundiales en torno al agua requerirá cambios fundamentales en el modo de pensar acerca del agua, y estos cambios se están realizando lentamente".

- Mundo Molina, M. y P. Martínez Austria, "El cambio climático y sus efectos potenciales en los recursos hídricos y la agricultura del valle del Yaqui, Sonora", *Ingeniería Hidráulica en México*, vol. IX, núm. 1, 1994, pp. 13-33.
- ONU, "Revision of the World Populations Estimates and Projections", on <http://www.popin.org>, 1998.
- Pielke, R.A. y L. Guenni, "Vulnerability Assessment of Water Resources to Changing Environmental Conditions", *Global Change Newsletter*, The International Geosphere-Biosphere Programme. Royal Swedish Academy of Sciences, septiembre, 1999, pp. 22-23.
- Plate, E., "Sustainable Development of Water Resources: a Challenge to Science and Engineering", *Water International*, vol. 18, núm. 2, 1993, pp. 84-94.
- Postel, S., "Growing More Food with Less Water", *Scientific American*, febrero, 2001, pp. 34-37.
- Semarnap, *Estadísticas del medio ambiente. México 1999*, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) y Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap), vol. I, México, 2000, 533 pp.
- Thom, R., *Structural Stability and Morphogenesis. An Outline of a General Theory of Models*, Benjamin Cumminns Co., Londres, 1973, 339 pp.
- Visscher, J.T., P. Bury, T. Gould y P. Moriarty, "Integrated Water Resource Management in Water and Sanitation Projects", *IRC*, International Water and Sanitation Center, 1999, 70 pp.
- WMO, *Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World*, World Meteorological Organization, Nueva York, 1997, 32 pp.
- WWC, "World Water Vision. Making Water Everybody's Business", *Earthscan Publ.* Londres, 2000, 107 pp.
- WWC, *World Water Vision, Commission Report*, World Water Council, 1999, 70 pp.

Abstract

Martínez Austria, P.F., "Emerging Paradigms for Water Management in the 21st Century, Lecture Enzo Levi 2000", *Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish)*, vol. XVI, num. 4, pages 127-143, October-December, 2001.

The objective of this paper is to show that water resources management is going through a deep crisis that will be overcome only if a substantial change towards new mental models, new paradigms of water management is produced. An overview of the present water problems in Mexico and worldwide is presented, including global uses, consumption practices and trends. The discussion includes the foreseeable effects on water resources of the global warming as well as some of the ruling principles that, according to the author's point of view, will constitute the base of new thinking models in water management: a global approach to water management, world vision of water and its five ruling conditions, systemic thinking and integrated management. An application of the systemic archetypes to the overexploitation of aquifers is also presented.

Key words: water management, integrated water management, water resources, systemic archetypes, global warming and water resources.

Dirección institucional del autor:

Poliopetro Martínez Austria

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532
62550 Progreso, Morelos, México