

El uso humano del agua y su impacto sobre los sistemas naturales

En tiempos anteriores a la aparición de las sociedades humanas las cuencas hidrográficas evolucionaban naturalmente a ritmos variados dependiendo de los factores climáticos, geológicos y biológicos. La aparición de la especie humana dio lugar a la introducción de diversos factores que dieron lugar a nuevas dinámicas y tendencias diferentes.

En las sociedades tradicionales antiguas la relación social con el agua se planteaba en términos de profundo respeto. En sus sistemas espirituales el agua era uno de los elementos sagrados más importantes, y el contacto con ella estaba frecuentemente asociado a prácticas ceremoniales, como las abluciones o el baño sacramental¹. Los otros usos del agua se limitaban a satisfacer las necesidades fisiológicas indispensables de los seres humanos, la higiene, saciar la sed y el lavado de los animales, y el riego a pequeña escala.

Las sociedades agro-urbanas que las sucedieron continuaron con algunas de estas prácticas y creencias, pero en mucho menor medida. Las aglomeraciones urbanas implicaron una distribución colectiva del agua, perdiéndose gradualmente la noción del origen del recurso. Del mismo modo, como resultado de la aparición de grandes proyectos de riego, el agua comenzó a ser vista cada vez más como un instrumento productivo, una “mercancía”.

Algunas sociedades agro-urbanas desarrollaron complejos sistemas de

abastecimiento en sus principales ciudades. Son los casos de Alejandría en Africa, Mohenjo Daro y Harappa en el Valle del Indo, Atenas, Roma y Venecia en Europa, y Tenochtitlán en América. A nivel productivo se extendió la irrigación agrícola. Para satisfacer estas necesidades se construyeron embalses, depósitos de almacenamiento y acueductos y se excavaron canales de riego. La obtención de agua pasó a tener un creciente contenido social y productivo.

A medida que las urbes se extendían, las tecnologías hidráulicas de abastecimiento se hacían más complejas. La ocupación territorial tendiente a satisfacer los mercados urbanos con bienes de consumo, llevaba a que las zonas rurales se fuese transformando gradualmente en una mera avanzada de los procesos de urbanización.

Todos estos fenómenos se ampliaron aún más a partir de la expansión de los estados europeos durante los siglos dieciséis y diecisiete. Las grandes urbes de Europa utilizaron los recursos de sus colonias ultramarinas para el desarrollo urbano, atrayendo contingentes poblacionales crecientes de las zonas rurales adyacentes.

Ello determinó una ruralización y luego urbanización de las sociedades tradicionales que habían logrado sobrevivir los procesos de agro-urbanización anteriores. La revolución industrial tuvo como impacto la aceleración de la evolución general hacia la ocupación territorial intensiva, con un modelo rural/urbano cada vez más acentuado.

Los efectos del modelo fueron numerosos y diversos: la expansión de la agricultura y la ganadería, una creciente explotación de los bosques, sobreutilización de los recursos hídricos, excavación de canteras y túneles, construcción de represas y otras estructuras artificiales, etc.

Estas intervenciones dieron lugar a impactos crecientes en la hidrodinámica terrestre, tanto a nivel local, como regional y global.

La situación se fue agudizando durante el siglo veinte a partir del avance acelerado de la revolución urbana mundial. El desarrollo de mega-ciudades con varios millones de habitantes, y la densificación de la población en muchas áreas rurales, creó una demanda de agua creciente y concentrada.

El consumo del vital líquido para propósitos agrícolas, domésticos, industriales y otros, se expandió muy rápidamente; a nivel mundial se construyeron miles de represas, se perforaron innumerables baterías de pozos, se extrajeron las reservas naturales a ritmos sin precedentes. Grandes volúmenes de aguas “usadas” de mala calidad se retornaron al ambiente causando degradación generalizada de los cursos de agua, lagos y acuíferos.

Al mismo tiempo se fue extendiendo la construcción de obras hidroeléctricas y embalses para la irrigación. Si bien la construcción de represas con

finés de generación de energía produce modificaciones relativamente menores a nivel de la calidad del agua, puede tener un impacto muy importante en los ecosistemas acuáticos fluviales. Ello se debe, fundamentalmente, a la obstrucción de las rutas de migración de muchas especies que habitan dichos ambientes.

El proceso de represamiento fluvial que empezó a fines del siglo XIX, ha continuado en forma incesante y hoy son escasos los cauces fluviales de cierta importancia que fluyen libremente desde sus cabeceras hasta la desembocadura.

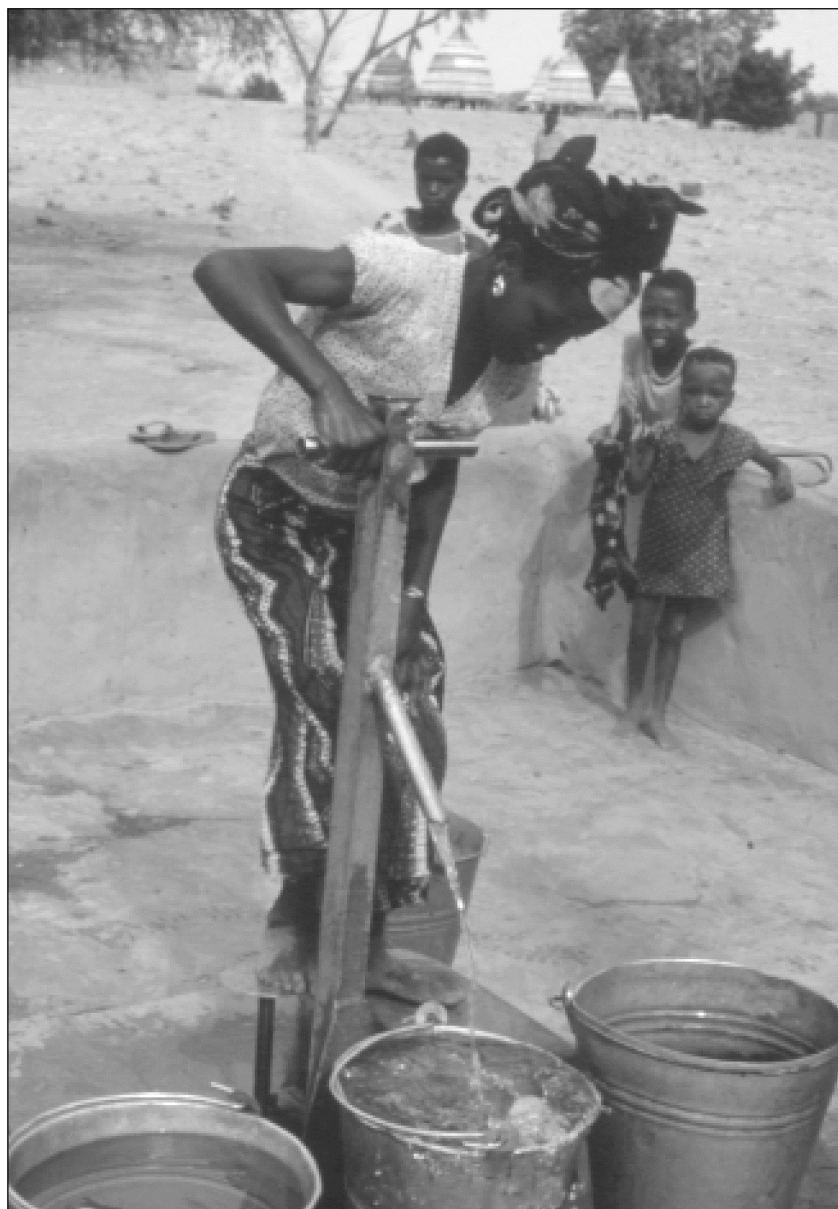
Este proceso se desarrolló a escala mundial a principios del siglo XX y todavía no se ha detenido². En la actualidad, al comenzar el siglo XXI, su crecimiento prosigue sin cesar.

Un efecto adicional es el aumento de la sismicidad por el peso de la agua almacenada. Este es el caso reciente de Turquía, que en 1997 tenía en construcción 55 represas mayores de 65 metros. Este número representaba el 16% de las 345 grandes represas en construcción en el mundo, mientras la población turca era menos del 2% mundial. Vale la pena recordar que en 1999 se produjeron varios terremotos que destruyeron varias ciudades del norte de este país³.

Procedimientos artesanales para la extracción de agua

A pesar del desarrollo de tecnologías hidráulicas de alto consumo energético que permiten abastecer a millones de personas a partir de grandes embalses, acueductos, tanques de almacenamiento, plantas de tratamiento y complejos sistemas de distribución, existen aún muchos cientos de millones de personas que obtienen sus aguas por medio de procedimientos artesanales. En muchos casos, ellas utilizan las aguas de los cursos de agua vecinos, con los riesgos sanitarios consiguientes, y en otros excavan o perforan sus propios pozos, extrayendo el agua con bombas (manuales o mecánicas), o más frecuentemente usando baldes. Un problema adicional es como hacer llegar el líquido hasta las viviendas. Como éstas se encuentran a cierta distancia, el transporte suele requerir muchas horas de trabajo semanales. En la mayor parte de las sociedades rurales actuales son las mujeres y los niños quienes se encargan de esa tarea.

Algunas organizaciones internacionales como FAO y UNICEF, han colaborado en la perforación de pozos e instalación de bombas en muchos parajes rurales de los países más pobres. Se han utilizado numerosos diseños con eficiencia variable. Ciertos tipos de bombas han sido dejados de lado



Algunas bombas de agua no son adecuadas desde el punto de vista social. Estas bombas a pedal utilizadas en Níger, África pueden ocasionar abortos en las mujeres embarazadas que son sus principales usuarios.

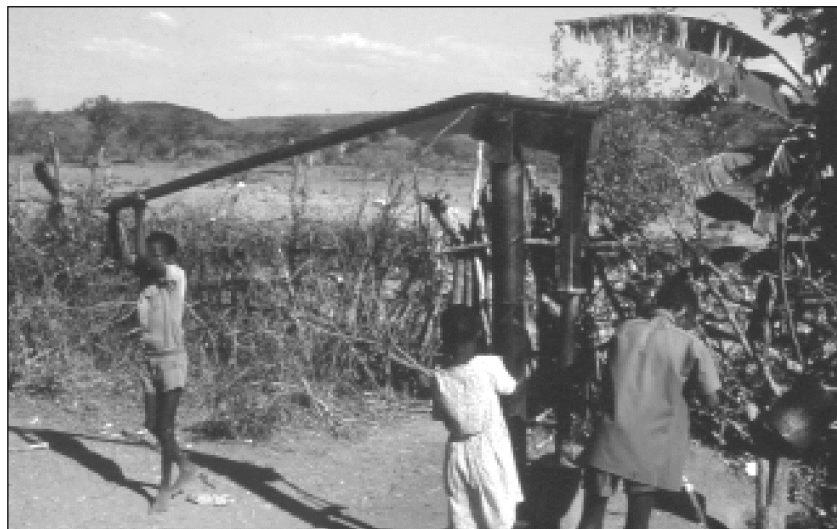


En muchos países de América Latina, son los más jóvenes quienes se encargan de acarrear agua en las zonas rurales. Aquí una niña ecuatoriana transporta el agua para su casa con ayuda de un burrito.

por presentar problemas fisiológicos (caso de las bombas a pedal que han ocasionado abortos en mujeres de Níger y otras partes) o por su incomodidad (bombas de palanca larga en Zimbabwe) inapropiadas para mujeres y niños.

En los últimos años se desarrolló un proyecto, apoyado por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), para obtener agua de las nubes en las montañas que están al norte de La Serena en Chile. Este proyecto, que fue llevado a cabo por CONAF y la Pontificia Universidad Católica de Chile y Environment Canada, fue altamente exitoso y permitió, por primera vez en la historia, obtener agua para el consumo directamente de las nubes. En todas sus facetas el proyecto fue financiado por el CIID de Canadá. Es una zona árida a semiárida (pluviosidad de menos de 350 mm) donde ocurren nubosidades semipermanentes a una altitud de 600 a 800 metros⁴. Estas nubes se trasladan hacia la costa en la tarde chocando contra las laderas de los cerros (donde reciben el nombre de *camanchaca*) y dejan sus gotas en forma de rocío en las hojas de las plantas y superficies de las rocas y suelos.

El proyecto buscaba obtener caudales suficientes para abastecer a una población cercana (Chungungo: 500 habitantes) por medio de varias decenas de cortinas de malla (atrapanieblas) que luego era recogida, tratada y



Algunas bombas de palanca larga, como éstas que se aprecian en la figura, en Zimbabwe, son inapropiadas para ser manejadas por los niños. A pesar de ello se construyeron e instalaron varios cientos de ellas en varios países africanos.

distribuida en los hogares.

La iniciativa fue exitosa y el proyecto es operativo desde principios de la década de 1990⁵.

Este procedimiento artesanal de bajo costo podría ser utilizado en muchos otros lugares en donde existen nieblas costeras (como Perú, las islas del Cabo Verde y Namibia). En el primer país de los nombrados, y precisamente en ese sentido, se llevó a cabo un proyecto apoyado por el CIID de Canadá.

Las intervenciones humanas como factor hidrológico de las cuencas

La influencia social sobre los sistemas hídricos se ejerce directa o indirectamente. En forma directa, lo hace a través de la extracción hídrica intensiva, el bombeo o desvío de las aguas a canales o receptáculos artificiales, la perforación y operación de pozos, la excavación de canteras y galerías de minas, la construcción de embalses y los vertidos de aguas residuales y otras acciones análogas. Indirectamente, su acción se efectúa a través de la alteración de la cobertura vegetal, la deforestación, las plantaciones y cultivos, la modificación climática y microclimática, etc.

Cuadro 8.1 Uso humano del agua

Sociedades Tradicionales	<ol style="list-style-type: none">1. Usos fisiológicos2. Higiene3. Animales4. Irrigación a pequeña escala5. Ceremonial
Sociedades Agro-urbanas	<ol style="list-style-type: none">1, 2, 3, 4, 5 y además:6. Irrigación en gran escala<ol style="list-style-type: none">a. Irrigación fluvial en zonas áridasb. Riego para obtener segunda cosecha en climas tropicales7. Abastecimiento a ciudades
Sociedades Industriales	<ol style="list-style-type: none">1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y además:8. Expansión de antiguas zonas irrigadas (gran escala)9. Establecimiento de nuevas zonas irrigadas<ol style="list-style-type: none">a. con agua superficialb. con agua subterránea10. Expansión del abastecimiento urbano11. Consumo industrial12. Producción de energía
Sociedades Globalizadas	<ol style="list-style-type: none">13. Producción de alimentos con riego, incluso en zonas subhúmedas14. Expansión macro-urbana

Debido a este impacto social crítico, las cuencas hidrográficas deben ser estudiadas, no sólo teniendo en cuenta los componentes naturales del sistema, sino también los diferentes modos de ocupación territorial humana.

La influencia de los diversos factores

La influencia de algunos factores antrópicos es particularmente importante. El talado y quema, la “apertura” de campos para la agricultura y la urbanización producen impactos muy intensos que se manifiestan fuertemente a nivel de los regímenes hídricos. Los caudales instantáneos de los lechos au-

mentan y los caudales de base disminuyen. Se incrementa el albedo y cambian las características térmicas de la superficie que se calienta más rápido durante los días y se enfría más en las noches. Al desecharse la cobertura vegetal, o al disminuir su densidad, se reduce la permeabilidad de la superficie, se intensifica el escurrimiento superficial, las partículas del suelo son erosionadas, se generan inundaciones y se produce sedimentación en los valles y llanuras aluviales. Las excavaciones y construcciones también tienen efectos degradatorios importantes: modifican la configuración del drenaje, destruyen o sustituyen la vegetación nativa, introducen elementos orográficos artificiales con impacto generalmente negativo. El efecto combinado de todas estas intervenciones resulta en una transformación radical del funcionamiento de las cuencas que debe ser considerado al analizar los procesos hídricos.

Los sistemas hídricos naturales

Desde el momento en que las precipitaciones tocan el suelo, comienzan a operar varios factores que afectan su uso futuro como fuente de agua para el consumo humano. Dependiendo de las características del medio local, el agua puede infiltrarse, escurrir sobre la superficie o evaporarse.

En las zonas de bosques gran parte del agua se infiltra en el suelo, recargando las napas subsuperficiales, mientras que otra parte es absorbida por la vegetación, que más tarde la devuelve a la atmósfera mediante la transpiración.

En estos ambientes, el escurrimiento superficial sobre las laderas es escaso y el agua infiltrada sólo reaparece en los cursos de agua como resultado de la descarga de las napas. En áreas esteparias o desérticas, donde hay una menor cobertura vegetal capaz de retener el agua, predomina el escurrimiento.

En las llanuras inundables de las regiones áridas los volúmenes de agua que llegan a los acuíferos puede ser importantes. En dichos ambientes, particularmente en las cuencas endorreicas, la mayor parte del agua se evade del ciclo terrestre a través de la evaporación.

En los pastizales subhúmedos el ciclo hidrológico presenta un comportamiento intermedio entre la dinámica árida y la dinámica húmeda.

Cuando la superficie del suelo es alterada por la acción antrópica, se ve afectada esta dinámica natural.

En los lugares en que se sustituyen los bosques por cultivos, la escorrentía tiende a acentuarse de manera significativa. Si se plantan árboles en áreas desnudas se opera el proceso contrario.

Cuadro 8.2

Uso del agua en la sociedad global

Producción de alimentos	<p>Para el incremento de la producción agrícola incluso en zonas no áridas. El riego ayuda a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumentar la producción • Agregar una segunda cosecha • Introducir especies/ variedades exigentes en agua, generalmente de crecimiento rápido . <p>Ello es posible a través de la inversión de energía:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construcción, operación y mantenimiento de maquinarias • Combustibles fósiles • Energía humana (gerenciamiento y operación de los sistemas).
Expansión mega-ciudades	Uso doméstico, municipal, industrial (uso muy concentrado, degradación de recursos hídricos, importación de agua de otras cuencas).
Crecimiento de ciudades medias	Uso doméstico, municipal, industrial (sobre todo uso concentrado y degradación de los recursos hídricos)
Rururbanización (urbanización de zonas rurales)	Además del uso rural, uso doméstico, municipal, industrial (degradación generalizada de las aguas naturales).

La agricultura también provoca importantes efectos sobre el balance hídrico. De acuerdo a las prácticas habituales, los cultivos se instalan previa eliminación de la vegetación existente, como forma de eliminar la competencia. Mientras el cultivo no emerge, la tierra permanece desprotegida, circunstancia que afecta drásticamente el destino del agua que cae sobre el suelo.

Una vez que el cultivo se desarrolla, el comportamiento hidrológico cambia nuevamente. Durante la estación de crecimiento los cultivos pasan por diversos estadios de desenvolvimiento que determinan diferentes grados de cobertura del suelo. En las zonas de cultivos el balance hidrológico está fuertemente controlado por las fases, generalmente cíclicas, de la agricultura.

La urbanización afecta la dinámica hídrica de manera aún más intensa. Una parte importante del suelo se cubre de superficies relativamente imper-

meables. Vastas superficies son pavimentadas con asfalto, cemento y otros materiales análogos.

En esos casos, la infiltración y la evaporación son casi nulas y la mayor parte del agua caída escurre rumbo a los sistemas de drenaje, generalmente artificiales.

En muchos sitios urbanos la tierra es excavada, removida o recubierta con rellenos traídos de otros lugares, produciendo intensos impactos hidrológicos adicionales.

Del mismo modo, las estructuras urbanas que se entierran, apoyan o cubren el suelo también afectan notoriamente la dinámica natural. A veces estas estructuras pueden recoger agua, como sucede en algunos techos de viviendas, o en otros casos, obstruir su flujo, tanto superficial como subterráneo.

La gestión urbana, independientemente de su adecuación, suele incluir esquemas de gestión hídrica de tipo totalizador. El agua de lluvia que llega al pavimento y a los suelos es recolectada en atarjeas, canales y cañerías y sacada fuera de la ciudad por medio de una red de conducción para evitar derrames e inundaciones. El agua de consumo se “importa” desde cauces, lagos o pozos cercanos, luego se la trata, almacena y conduce a las zonas de consumo para ser utilizada con varios fines y finalmente eliminada como aguas servidas. Dicha eliminación con o sin tratamiento se realiza utilizando otros sistemas de conducción.

En todos los casos el agua es devuelta al sistema hidrológico “natural” en un estado muy diferente a aquél en que originalmente fue extraída.

Las acciones urbanas tienen además impacto en el resto del territorio aún no urbanizado. Los ríos son canalizados o entubados, sus volúmenes y regímenes de flujo son sustancialmente modificados y sus aguas cargadas de sustancias producidas artificialmente y naturales “relocalizadas”. Los niveles del agua subterránea y el flujo sufren alteraciones. En algunas zonas estos niveles descienden debido al sobrebombeo o a descargas inducidas y en otras pueden subir cuando aumenta la infiltración (por riego o pérdidas de los sistemas) u ocurren obstrucciones al flujo (subterráneo o superficial).

Estos cambios de los sistemas hídricos pueden tener lugar en el sitio de extracción (disminución del volumen del río o descenso del nivel de agua por acción de los pozos), durante su conducción y almacenamiento (pérdidas desde los canales, caños, tanques y alcantarillas), o en la parte de disposición final del sistema (descargas de cloacas y alcantarillado).

Impactos sobre los sistemas hídricos naturales

En las cuencas de las represas, generalmente construidas para proveer agua

a las plantas de tratamiento, hogares, industrias y zonas de regadío y energía hidroeléctrica, los bosques cumplen el rol de controlar el flujo de agua que desciende de las cabeceras hasta los embalses. La destrucción de las superficies forestadas modifica la acumulación en los lagos artificiales así como los balances hídricos aguas abajo, particularmente en los casos en que se desvían volúmenes significativos a otras cuencas. Si se bombea agua de un acuífero, se modifican los volúmenes de carga y descarga desde y hacia los cauces con los que dichos acuíferos tienen conexión hidráulica. Asimismo, si se utiliza el agua superficial en un punto dado, el agua subterránea conectada con ella también sufrirá modificaciones. La eliminación de la vegetación en las cuencas altas suele afectar tanto el agua superficial como subterránea de las zonas más bajas de las mismas cuencas.

Todos los elementos del sistema hidrológico se encuentran íntimamente relacionados. Por esa razón, los efectos de cualquier tipo de acción pueden resultar mucho más complejos de lo que aparentan a primera vista. Es importante definir de antemano quién tiene el derecho y la autoridad para hacer modificaciones que puedan afectar a otras personas que habitan la misma región hidrológica.

En resumen, la gestión de los sistemas hídricos debe tener en cuenta que los procesos naturales y antrópicos se encuentran estrechamente interconectados. A los efectos de su manejo, éstos deben ser considerados en forma unitaria e integrada.

Los problemas ambientales y sus costos

Debido al sobreuso y utilización inadecuada de los recursos hídricos, se están creando serios perjuicios ambientales, tanto a nivel regional, como municipal y local. Los problemas son diversos y complejos, afectando no solamente al agua, sino también al suelo y al aire. El aire contaminado da lugar a cambios en la intensidad y longitud de onda de la radiación solar recibida a nivel del suelo, así como a modificaciones en el régimen, volumen y calidad de las precipitaciones.

Las variaciones de albedo, de evapotranspiración o de polvo generado producen cambios a nivel atmosférico. Cuando la calidad del agua se deteriora también el aire es afectado debido (entre otras cosas) a la disminución o aumento de la evaporación y a cambios en el balance de las radiaciones. A su vez, el suelo es modificado como resultado del aumento de la erosión y de la sedimentación, de las inundaciones o sequías en ríos o lagos, de la salinización y ascenso de las napas freáticas superficiales y otros procesos análogos.

Cambios en los sistemas naturales

Cambios en los caudales fluviales

Con frecuencia, la acción antrópica en áreas densamente pobladas y/o de alto consumo provoca una disminución del volumen de agua en los cursos de agua y cuerpos lagunares adyacentes y cambios a nivel de los acuíferos. En el caso de los caudales fluviales (ver cuadro 8.1) el impacto de las intervenciones humanas generalizadas (urbanización, excesiva explotación agropecuaria, sobreexplotación hídrica) puede causar serios perjuicios a las comunidades ribereñas, dando lugar a inundaciones y sequías donde antes no existían y trayendo grandes acumulaciones sedimentarias perjudiciales para las actividades locales (por ejemplo arenas y gravas).

Cambios de los regímenes hídricos

Los regímenes naturales de los cursos de agua pueden verse alterados por variaciones en el uso del suelo (por ejemplo, deforestación y cultivos), por extracción de agua, construcción de represas y cambios en las relaciones de recarga-descarga entre acuíferos y sistemas hídricos de superficie.

Cambios en la cantidad de sedimentos en suspensión

Los aumentos en la concentración de sedimentos de una corriente de agua son a menudo el resultado de un aumento de la erosión en el territorio de la cuenca que da lugar a incrementos de la sedimentación aguas abajo, sobre las llanuras de inundación y en los embalses.

Sedimentación y relleno de los embalses

Estos procesos son generalmente consecuencia de la evolución normal de los ríos. Las llanuras de inundación son áreas naturales de sedimentación, al igual que los embalses. Sin embargo, la degradación antrópica de las cuencas provoca aumentos en las tasas de sedimentación y pueden conducir a una rápida colmatación de los embalses y a la consiguiente disminución de su capacidad de almacenamiento. El período operativo útil de algunos embalses se ha reducido hasta en un orden de magnitud debido al inadecuado manejo de las cuencas que los alimentan.

Contaminación de las aguas superficiales

La contaminación ocurre cuando las aguas servidas y otros efluentes urba-

Cuadro 8.3
Impacto de la acción antrópica
en los caudales fluviales

Acción	Impacto
1. Cambios en el uso del suelo en cuencas de recepción	Generalmente aumenta el escurrimiento, disminuyen la evaporación e infiltración
2. Extracción de agua de los cursos naturales para irrigación	Aumento de la evaporación, de la infiltración, diversión intercuencas o aguas abajo de la misma cuenca
3. Extracción de agua para consumo urbano	Disminución del flujo fluvial o de los niveles lacunares.
4. Extracción para recarga de acuíferos, voluntaria o involuntaria	Disminución del flujo/volúmenes almacenados, ascenso de la napa
5. Construcción de represas	Aumenta la evaporación y/o la infiltración, cambia el régimen a nivel del lecho fluvial

nos son vertidos a los cauces de agua y a los lagos. Las principales fuentes de contaminación son las siguientes:

1. Efluentes cloacales domésticos y municipales
2. Efluentes industriales
3. Efluentes y drenajes de campos agrícolas
4. Efluentes y drenajes de canteras y minas
5. Lavado de fertilizantes y pesticidas
6. Lluvia ácida

Entre los contaminantes más importantes encontrados en el agua se incluyen los siguientes:

1. Detergentes (por ejemplo: jabones, polvos para el lavado y solventes);
2. Pesticidas (por ejemplo; hidrocarbonos clorados, ácidos clorofenoxólicos, organofosfatados y carbamatos);
3. Petróleo y derivados;
4. Metales tóxicos (por ejemplo: plomo y mercurio);
5. Fertilizantes y otros nutrientes vegetales, tanto provenientes de aguas

servidas de origen doméstico y agrícola, como de compuestos utilizados en la agricultura;

6. Compuestos que reducen el oxígeno disuelto del agua (por ejemplo: desechos/ efluentes de fábricas de alimentos enlatados, de plantas de procesamiento de carne, de mataderos, de lavaderos de lanas, de curtiembres, de fábricas de pulpa y papel, así como desechos generados por animales domésticos y aguas servidas de origen doméstico o agrícola);

7. Agentes patógenos, como varios microorganismos responsables de infecciones del tracto intestinal (fiebre tifoidea, disentería, cólera, etc) y de la hepatitis;

8. Sustancias radiactivas resultantes de la disposición de sustancias residuales generadas por la explotación de minas de uranio y otros minerales radiactivos, o material radiactivo de plantas nucleares, o industrias, hospitales e institutos de investigación que utilicen energía atómica.

Con frecuencia las aguas servidas contaminadas son utilizadas para el riego. En América Latina esta práctica es bastante común. Desde hace varias décadas en México se irrigan aproximadamente 90.000 ha de tierra agrícola en el Valle del Mezquital utilizando aguas servidas provenientes de Ciudad de México (ver capítulo 14). A principios de la década de 1990, 2.000 ha de cultivo de verduras eran irrigadas en Lima con aguas servidas de origen urbano. En São Paulo las aguas contaminadas del Río Tiête son utilizadas para regar verduras plantadas aguas abajo del núcleo urbano. Por último, en Santiago, un área de 62.000 ha de producción de verduras es irrigada con el agua de los 3 cursos localizados aguas abajo del punto de salida del sistema de saneamiento de la ciudad.

A pesar de que los riesgos para la salud no son de ninguna manera despreciables, existe un potencial efectivo de reutilización de las aguas servidas urbanas, siempre y cuando se implementen adecuados procedimientos para su tratamiento. Recientemente la Organización Mundial de la Salud publicó una serie de guías para el uso de aguas servidas en la agricultura que permitiría un reciclado relativamente seguro de las aguas residuales. A medida que aumenta el costo de desarrollo de nuevos recursos hídricos se puede pronosticar un aumento gradual de la reutilización de las aguas residuales.

Contaminación del agua subterránea

Los efluentes urbanos y el agua que percola a través de la basura pueden encontrar vías de acceso a los acuíferos. Las fuentes de contaminación, y los

principales contaminantes son los mismos que han sido citados más arriba como contaminantes del agua superficial. Dado que el tenor de oxígeno en los ambientes subterráneos es bajo, los líquidos contaminados no sufren procesos de oxidación análogos a los de la superficie. Por otra parte, la mayor parte de las formaciones geológicas tienen la propiedad de actuar como filtros de muchos de los contaminantes que contiene el agua que fluye en su interior. Los agentes patógenos, por ejemplo, son rápidamente eliminados. Sin embargo, la capacidad de filtración de las formaciones geológicas varía considerablemente: algunas, como las areniscas limosas, son sumamente efectivas, otras como los acuíferos kársticos, suelen permitir el pasaje rápido de las sustancias contaminantes sin retenerlas en su camino.

Descenso excesivo de los niveles piezométricos de las napas

Cuando la tasa de extracción de aguas de un acuífero más su descarga superficial y flujo subterráneo a otros acuíferos contiguos, exceden la tasa de recarga desde la superficie y el influjo subterráneo desde otros acuíferos, los niveles dinámicos y el nivel de agua del mismo descienden. En algunos casos extremos, como por ejemplo, en las excavaciones de túneles y canteras, los acuíferos pueden ser completamente agotados.

Inundaciones

Las inundaciones son provocadas por un escurrimiento superficial intenso o por una elevación de la napa freática a niveles cercanos o superiores al de la superficie del suelo. El ascenso del nivel de agua subterránea puede estar relacionada con una obstrucción artificial de la vía de descarga, subterránea o superficial, o a un aumento en la recarga.

La degradación hídrica en América Latina

En América Latina se observan todos los problemas ambientales citados precedentemente. En muchas ciudades del continente el abastecimiento de agua ha disminuido debido a menores caudales o a cambios de los regímenes hídricos. En la región peri-amazónica, desde hace dos o tres décadas, como consecuencia de la deforestación de las cuencas, los niveles fluviales descienden considerablemente durante la estación seca. Al mismo tiempo, durante el período húmedo se producen inundaciones inéditas.

El río Cuiabá (Mato Grosso, Brasil), ya no provee los caudales necesarios

para satisfacer completamente los requerimientos de la ciudad de Cuiabá (800,000 hab.) durante el período de seca. Similares problemas se dan en muchas ciudades del Escudo Brasileño. En México, uno de los casos más graves es el del sistema Lerma- Chapala- Santiago⁶. El río Lerma, principal valle fluvial de esta cuenca, se origina en el eje neovolcánico mexicano y fluye hacia el norte para desembocar en el lago de Chapala. A su vez este cuerpo de agua drena hacia el océano Pacífico a través del río Santiago.

Las cabeceras del río Lerma se encuentran en el macizo del Xinantecatl (Nevado de Toluca) y elevaciones adyacentes. Las aguas infiltradas y escurridas en estas zonas montañosas descienden hacia el valle de Toluca. Antiguamente estas aguas se expandían en el pie de monte, ya sea a partir de los torrentes que bajaban de los cerros, o aflorando en numerosos manantiales que se formaban en las zonas de inflexión de pendiente o en las depresiones orográficas para ir a nutrir los cuerpos lacunares del valle. Durante las últimas décadas, el bombeo de las aguas subterráneas para abastecer a la ciudad de México y poblaciones locales del valle dio lugar al descenso de los niveles piezométricos (ver capítulo 6) y a la disminución del área lacunar (a ello contribuyó además el drenaje de extensas áreas para el uso agrícola). Desde entonces⁷, la evacuación de las aguas de la cuenca se realiza a través de un canal excavado artificialmente, que aguas abajo⁸ se une con el lecho natural del río Lerma. Debido a la densa población establecida en su cuenca, el río fluye cargado de contaminantes y sedimentos en suspensión, dificultando su utilización en las porciones inferiores de su curso. A ello se agrega la gradual desecación y colmatación sedimentaria del Lago de Chapala, cuya degradación acelerada pone en peligro su supervivencia futura.

La carga de sedimentos en suspensión en las aguas fluviales está generando problemas similares en la mayor parte de los países de América Latina. Esta situación se vuelve crítica a nivel de las tomas para el abastecimiento urbano. En Colombia la situación es particularmente problemática en Ibagué, ubicada en el piedemonte de la Cordillera Central y en Popayán, en el sur. Se observan problemas análogos en Lima, sobre el río Rimac, en Perú. Lo mismo sucede con otras ciudades que dependen de ríos de carácter torrencial para su abastecimiento de agua y para la generación de energía hidroeléctrica. El cauce de estos ríos se está llenando de sedimentos a gran ritmo, como ocurre con el embalse del Río Papagayo, aguas arriba de Acaulco, en México.

La contaminación hídrica está ampliamente extendida en la región. No existe prácticamente ningún curso de agua, lago o acuífero intocado por la contaminación de origen antrópico. Las ciudades más grandes son las que

presentan los mayores problemas. Todos los ríos que se originan en ellas o las atraviesan están altamente contaminados: el Riachuelo, en Buenos Aires; los ríos Tiête y Pinheiros, en São Paulo; el río Mapocho, en Santiago; el río Bogotá, en la ciudad del mismo nombre; el río Almendares, en La Habana; los arroyos Pantanoso y Miguelete, en Montevideo, y el río Guaire, en Caracas. La totalidad de las sustancias contaminantes posibles citadas precedentemente se encuentran, en mayor o menor concentración, en estos cursos de agua urbanos, con la excepción probable de los residuos radiactivos, que son menos comunes en las ciudades de América Latina.

Generalmente, los reservóros subterráneos están mejor protegidos contra la contaminación. A pesar de ello, existen indicios de que los acuíferos de Buenos Aires, de São Paulo y de la Ciudad de México, entre otros, están comenzando a sufrir las consecuencias del vertido y disposición no controlada de efluentes y residuos. Estos fenómenos fueron estudiados en varios proyectos de hidrogeología urbana desarrollados por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) de Canadá.

En muchas ciudades donde se practica un bombeo intensivo se está produciendo un descenso excesivo de las napas. Tal es el caso, por ejemplo, de algunos suburbios de Buenos Aires, de la Ciudad de México y de Lima. En algunos casos el sobrebombeo ha provocado intrusión salina, como ser en Mar del Plata (Argentina), Nassau (Bahamas), Santa Marta (Colombia), La Habana (Cuba), Lima (Perú) y Coro y Maracaibo (Venezuela).

Las inundaciones se han tornado frecuentes en ciudades ubicadas aguas abajo de áreas deforestadas. Las ciudades de Montería y Sincelejo, en el norte de Colombia, están siendo afectadas por las inundaciones del Río Sinú. La propia Lima sufre periódicamente las destructivas inundaciones del Río Rimac.

Los costos económicos y sociales de estos problemas ambientales son enormes y de difícil evaluación. Si bien estos desastres afectan a la población en su conjunto, no hay ninguna duda que los sectores más vulnerables son las comunidades urbanas pobres. Ellas carecen de recursos para adquirir agua embotellada, perforar sus propios pozos, instalar una bomba con su generador o establecer sus sistemas de tratamiento o filtros. Tampoco disponen de los medios para mudarse fuera de los barrios superpoblados e insalubres de la ciudad.

Los pobres urbanos raramente cuentan con otras opciones aparte de vivir en llanuras inundables, en laderas inestables o en las cercanías de basurales. Obtienen el agua de aguateros, camiones cisterna y canillas públicas, o de un sistema municipal que resulta mucho menos confiable para ellos que para otros sectores de la población. En los casos en que el agua está con-

taminada, ellos son los primeros en enfermarse. A su vez, tienen menos acceso a los servicios médicos o al dinero necesario para pagarlos. Paradójicamente, y a pesar de lo inadecuado del servicio, los pobres de las ciudades se ven obligados a pagar por cada litro de agua insuficiente y de baja calidad, más dinero que la que pagan los sectores el que pagan más puentes por agua de mejor calidad (ODC, s.f.).

Impacto del uso del agua

El agua es la sustancia de consumo humano más común y generalizada. Se la utiliza para regar los cultivos, para beber, para la limpieza y la cocina, como materia prima industrial, para enfriamiento y muchos otros propósitos.

La mayor parte es consumida por la agricultura (80%). Un porcentaje considerable se utiliza a nivel doméstico (10%) y la mayor parte del resto (8-9%) en los procesos industriales.

Estas cifras reflejan tan sólo el agua que es *efectivamente* utilizada. Hay grandes volúmenes que no son utilizados directamente, pero que son *afectados* por la acción humana. El agua de buena calidad fluvial o lacustre se degrada como resultado de las descargas de aguas residuales con o sin tratamiento insuficiente (ver capítulo 13). El volumen de aguas naturales que son afectadas por las actividades humanas es enorme y difícil de cuantificar. Es probable, que sea, por lo menos, equivalente a toda el agua consumida en el mundo, y tal vez, considerablemente mayor.

Otra causa antrópica de degradación hídrica o una causal de disponibilidad restringida, es el manejo inadecuado de suelos y laderas.

Las prácticas agrícolas o de pastoreo inapropiadas causan erosión de suelos y el agua de escurrimiento proveniente de los cultivos comerciales suele transportar fertilizantes agrícolas y pesticidas. En estos terrenos inadecuadamente utilizados, el escurrimiento se concentra en un período corto, causando inundaciones e impidiendo la utilización óptima de los recursos acuáticos. Durante las crecientes los ríos transportan partículas en suspensión que no solamente disminuyen la calidad del agua, sino que también obstruyen los mecanismos en las plantas de filtrado, haciendo el tratamiento más costoso y difícil.

Por esa razón, los problemas del agua no son simplemente temas de disponibilidad. Para obtener el recurso hídrico en forma apropiada y duradera, las sociedades deben planificar su implantación y actividades teniendo en cuenta su presencia y calidad. Las estrategias sociales no pueden ignorar el factor agua. Cuando lo hacen, tarde o temprano, esta omisión termina por afectar la propia supervivencia.

Vulnerabilidad de los recursos hídricos

La vulnerabilidad de los recursos hídricos a la contaminación antrópica, varía de acuerdo al lugar y al tipo de cuerpo hídrico. Los lagos son más vulnerables que los ríos debido a su menor tasa de renovabilidad. Los ríos y lagos mayores son menos vulnerables que los más pequeños.

Las fuentes de aguas superficiales se contaminan rápido, pero al mismo tiempo, son relativamente simples de limpiar cuando existe la voluntad política y social de hacerlo.

El agua subterránea, por el contrario, es menos vulnerable a corto plazo. En general (y existen excepciones, como los acuíferos kársticos), los contaminantes tardan más tiempo en infiltrarse en las reservas subterráneas. En algunos casos, las napas de agua están protegidas por niveles impermeables. Sin embargo, muchos acuíferos pueden ser fácilmente contaminados a partir de sus áreas de recarga o debido a perforaciones inapropiadas.

Cuando esto ocurre, el daño puede ser difícil y caro de corregir. En ciertos casos, la situación es irreversible.

Los problemas de agua en las áreas densamente pobladas

El aumento de la densidad de población en muchas zonas del planeta ha ejercido una presión insostenible en las fuentes de agua locales. En algunos territorios de alto crecimiento demográfico los recursos hídricos se han agotado o están a punto de agotarse. Esta situación se observa en la India, en Pakistán, en Java, Indonesia, en las zonas semiáridas de México y en las áreas costeras de Perú, entre otras.

El crecimiento acelerado de las ciudades también ha sido un factor de escasez y desajustes en el abastecimiento hídrico de poblaciones, industrias y cultivos. Esta crisis se acentuó en las últimas décadas. En la mayor parte de los grandes centros urbanos contemporáneos, en el momento de su fundación o desarrollo inicial, los recursos hídricos eran abundantes. En muchos casos, fue la misma presencia de agua que se constituyó en el factor decisivo para definir la localización del primer núcleo establecido. Generalmente, estas ciudades, aún en desarrollo, obtenían el agua de ríos y lagos cercanos, y en ese momento, los recursos eran más que suficientes. En donde no existían ríos o lagos, o eran de difícil acceso, las ciudades utilizaron acuíferos subyacentes o cercanos. Debido a la presencia de agua suficiente y otras razones, las poblaciones originales pudieron crecer transformándose, con el

tiempo, en centros urbanos mayores.

Desafortunadamente, casi sin excepción, los sitios de las ciudades no fueron elegidos pensando en el crecimiento que habría de tener lugar en el futuro como consecuencia de los procesos industriales y/o demográficos.

A fines del siglo diecinueve y durante el siglo veinte, muchas ciudades aumentaron dramáticamente sus requerimientos de agua.

Las grandes ciudades consumen enormes volúmenes de agua. Los Angeles, México, Tokio y Buenos Aires, cuatro de las ciudades mayores del mundo, utilizan de 50 a 150 metros cúbicos de agua por segundo. Estas cantidades pueden parecer considerables; sin embargo, son minúsculas comparadas con el flujo de los grandes ríos. El caudal del Amazonas al desembocar en el Océano Atlántico asciende a unos 190,000 metros cúbicos por segundo, 2 mil veces la tasa de consumo de la mayor metrópolis del planeta.

En su desembocadura, el río Congo lanza al mar promedialmente 60 mil metros cúbicos por segundo. Muchos otros ríos, como el Paraná, el Yangtze y el Mississippi derraman más de 10 mil metros cúbicos cada segundo.

En realidad, esta aparente sobreabundancia de agua no refleja la realidad. Los ríos Amazonas y Congo no son típicos pues una porción significativa de sus cuencas se encuentra en zonas de alta pluviosidad. Muchos otros ríos con grandes cuencas (como el Nilo y el Níger) poseen caudales sustancialmente menores.

En promedio, el agua disponible es mucho menos. No hay que olvidar que las cifras señaladas se refieren al caudal en la desembocadura del río (en donde normalmente éste es el máximo).

En consecuencia, los recursos hídricos que pueden ser utilizados para las áreas urbanizadas son mucho menores de lo que serían si éstas estuvieran localizadas en sitios ideales.

Muchas ciudades que se encuentran en la boca de grandes ríos (como Georgetown en Guayana o Montevideo en Uruguay) no pueden usar el agua directamente debido a su carácter salobre (salinidades generadas por el ascenso o desplazamiento del agua de mar durante la estación seca, la acción de las mareas o los vientos).

Algunas conurbaciones están situadas cerca de las divisorias de aguas por lo que el agua disponible es limitada (por ejemplo São Paulo, Brasil, ciudad de México y, en menor grado, Madrid, España), o cerca de cursos de agua demasiado pequeños o irregulares (Los Angeles, EE.UU., y Lima, Perú). En estos casos los recursos disponibles no pueden satisfacer las necesidades crecientes de las áreas metropolitanas adyacentes.

En muchas de estas mega-ciudades, los recursos hídricos locales han sido agotados o degradados, en algunos casos desde hace varias décadas, y las

autoridades y compañías de suministro se han visto forzadas a buscar el líquido en otras cuencas o acuíferos vecinos. Como consecuencia de ello, el costo del agua ha aumentado considerablemente, aunque en muchos casos está “disfrazado” en los presupuestos nacionales, provinciales o municipales. A menudo las cuentas de suministro de agua urbano solo registran los costos operacionales, las inversiones son financiadas a nivel nacional, y en algunos casos, incluso los costos de reemplazo no están plenamente considerados.

Cuando las ciudades no pagan el precio total del agua, alguien debe hacerlo en su lugar. En muchos países las ciudades mayores están siendo subsidiadas por la población en general, incluyendo los contribuyentes de las poblaciones pequeñas y de las zonas rurales que no se benefician (más bien se perjudican) con las obras.

El continuo crecimiento de las grandes áreas urbanas ha de agravar el problema más aún. Nuevas fuentes de agua solo se encontrarán más lejos o a mayor profundidad; su aprovechamiento requerirá embalses, plantas de tratamiento y sistemas de conducción y distribución más costosos. Las estrategias futuras deberán procurar redefinir los paradigmas de “desarrollo constante” que son la causa de la insostenibilidad en los sistemas actuales. Se requerirá un nuevo enfoque que permita que el consumo de agua se relacione con su distribución y disponibilidad y donde las políticas racionales y equitativas tengan prioridad sobre las inversiones crecientes y el derroche innecesario de los recursos (ver capítulo 12).

Generación de energía

La generación de energía también puede ser un factor de utilización excesiva o inapropiada del agua. Normalmente, se trata de presas construidas con fines hidroeléctricos que cambian radicalmente la dinámica y los ecosistemas fluviales. En muchos casos, y dentro de ciertos límites, las modificaciones a los regímenes pueden ser administradas artificialmente. Bien manejados, los embalses permiten un cierto control de los picos de crecidas y disminuir el impacto de las grandes sequías. Desde el punto de vista negativo, la presencia de los diques suele tener un efecto muy perjudicial en las poblaciones de peces de migración longitudinal. Algunas especies pueden disminuir considerablemente, e incluso desaparecer por completo. Ello se traduce inevitablemente en el desequilibrio del ecosistema con el consiguiente impacto en las comunidades humanas que de él dependen (por ejemplo pescadores). Otra consecuencia común de la construcción de embalses son las pérdidas por evaporación. Éstas son mayores en los embalses extensos y po-

co profundos, y en las zonas áridas y cálidas.

Los ejemplos de proyectos hidroeléctricos con impacto desequilibrante en los sistemas hídricos abundan: la presa de Aswan en Egipto (ver capítulo 18), las represas de Itaipú y Yacyretá sobre el río Paraná en Brasil, Paraguay y Argentina, y muchas otras.

A pesar de los problemas constatados en muchos sitios, la tendencia a represar los ríos con fines de generación hidroeléctrica no se ha detenido. Por el contrario, existen aún numerosos planes de expansión hidroeléctrica en algunos de los países más extensos y poblados del mundo como la India⁹, China, Turquía, Irán y Japón¹⁰.

En algunos casos, la generación de energía hidroeléctrica está afectando antiguos cuerpos lacustres. Un ejemplo representativo de este problema ocurre en el histórico lago Sevan de Armenia¹¹. Desde hace algunas décadas el lago está siendo drenado por las plantas hidroeléctricas del Río Razdan¹² para producir la energía eléctrica tan necesaria para este país mediterráneo (sobre todo luego del conflicto con Azerbaiján, que privó a Armenia de su aprovisionamiento en combustibles fósiles). Las plantas fueron construidas en la década de 1940 cuando los niveles de agua estaban 20 metros por encima de los actuales. En la actualidad luego de 60 años de drenaje, la extensión del lago se está reduciendo cada día y sus aguas están totalmente eutrofizadas. La guerra con su vecino Azerbaiján obligó a aumentar la producción hidroeléctrica con las consecuencias ambientales antes mencionadas. Este es un ejemplo más de como los enfrentamientos bélicos entre las naciones pueden acelerar los procesos de degradación de los sistemas hidrológicos naturales.

La acción humana como factor hidrológico de las cuencas

El avance de las sociedades agro-urbanas e industriales ha agregado un nuevo factor a la dinámica hidrológica, que se ha hecho más relevante a medida que se extiende su influencia. La acción humana se ejerce directamente sobre los sistemas hídricos, a través del bombeo o desvío de las aguas a canales o receptáculos artificiales, construcción de embalses, vertidos de aguas residuales, o indirectamente, a través de la modificación de la cobertura vegetal (deforestación, plantíos), provocando cambios climáticos y micro-climáticos, así como debido al impacto de excavaciones y construcciones en laderas y cimas.

Por esa razón, las cuencas hidrográficas no sólo deben ser estudiadas te-

niendo en cuenta los componentes naturales del sistema, sino también los diferentes modos de ocupación territorial.

Éstos últimos se hacen sentir en los interfluvios por medio de la deforestación, la “apertura” de campos para la agricultura y pastoreo y los procesos de urbanización. Como resultado de estas modificaciones se producen impactos intensos que luego se manifiestan a nivel de los caudales instantáneos y anuales de los lechos.

Cambian el albedo y las características térmicas de la superficie, que se calienta más rápido durante los días y se enfría más intensamente en las noches. Al desecharse la cobertura vegetal, o al disminuir su densidad, se reduce la permeabilidad de la superficie, se incrementa el escurrimiento momentáneo y las partículas del suelo son erosionadas, generándose inundaciones y sedimentación en los valles y llanuras aluviales. Las construcciones también tienen efectos degradatorios: modifican la configuración del drenaje, destruyen o sustituyen la vegetación nativa e introducen elementos orográficos artificiales con impacto generalmente negativo.

Es difícil comprender la evolución del paisaje y desarrollar las estrategias más apropiadas para su manejo si no se tienen en cuenta las numerosas variables relevantes. El carácter complejo y multitemático de los procesos naturales hace necesario un enfoque integrado apuntando a avanzar hacia modelos sostenibles en el futuro.

Tal como lo define M. Falkenmark, 1997: “*el futuro no puede ser encarado en reversa confiando en los enfoques del pasado de una cosa por vez*”. Más bien, sostiene este autor, correspondería imaginar un futuro sostenible y retroceder para llegar al presente de modo de poder diseñar a partir de aquél, las políticas y estrategias que permitan avanzar hacia ese porvenir potencial y sostenible que se considera deseable y posible¹³.

Referencias

1. Señala Lasserre, Jean-Claude, 1995, en su trabajo *Of rivers and people*: Mientras el agua de los ríos es una fuente de vida, es también una fuente de pureza y tiene un significado simbólico y religioso en muchas civilizaciones. Podemos ver esto en el bautismo de Cristo en las aguas del Jordán y en el baño ritual de los hindúes en el Ganges.”
2. Gardner, Gary y Perry, Jim, 1995; *Big-dam construction is on the rise*; World Watch, Septiembre/ Octubre de 1995; pp.36-37.
3. International Journal Hydropower and Dams, 1997; *The status of dams and hydropower development*, Londres.
4. Se trata de estratocumulus, nubes que separan dos masas de aire, una caliente arriba y una fría abajo (inversión térmica). La diferencia entre ambas puede ser de varios grados (a veces más de 10°).
5. Danilo Antón, uno de los editores de este libro, estuvo a cargo del desarrollo de este proyecto desde sus inicios como oficial de programa del Centro Internacional de Investigacio-

nes para el Desarrollo (CIID) de Canadá.

6. El tema de la cuenca del río Lerma ha sido estudiado por numerosos autores en México. El CIRA de la Universidad Autónoma del Estado de México se ha estado ocupando de esta problemática ya por varios años, Albores, B., realizó un estudio en profundidad de los aspectos antropológicos y culturales de la zona en su libro: *Tules y sirenas*. Otros autores que se han ocupado del tema incluyen a Ham Chi, M., 1996; Díaz Delgado, C. et al, 1999 y Esteller, M., 1999.

7. Las políticas deliberadas de drenaje de las lagunas del valle de Toluca comenzaron en la década de 1940 y aún hoy se continúan.

8. Al norte del valle de Toluca el canal-río está represado por el embalse José Antonio Alzate (ver capítulo 9).

9. Lele, Sharad en su trabajo *The damming of India* de 1988 describía en detalle los proyectos hidroeléctricos del país. Las políticas hidroeléctricas del gobierno de la India no han cambiado en forma significativa en los últimos años.

10. *International Journal Hydropower and Dams*, op. cit.

11. En el Cáucaso.

12. Río-emisario que evacúa el sobrante de aguas del lago.

13. Falkenmark, M., 1997; "Society's interaction with the water cycle: a conceptual framework for a more holistic approach"; en *Hydrological Sciences- Journal des Sciences hydrologiques*, 42 (4) Agosto de 1997, p. 451.