

El ciclo del agua

Distribución del agua en el planeta

La mayor parte del agua del planeta está almacenada en los océanos. En ellos, que constituyen el elemento central y más abundante de la *hidrosfera*, reside más del 97% del componente hídrico global: 1,348 millones de km³.

Otra parte considerable (2.01%) se encuentra congelada bajo la forma de hielo en los *inlandsis*, glaciares y banquisas. Su volumen es de alrededor de 27.8 millones de km³. Estas masas heladas se mantienen relativamente constantes, aunque disminuyen por debajo del 2% durante el verano austral (cuando el hielo de la Antártida se funden parcialmente), y ascienden a poco más del 2 % en el invierno. En las últimas décadas, como resultado probable del efecto invernadero, se ha constatado un adelgazamiento de las capas heladas del mar Ártico.

Más de 0.5 % del agua global está contenida en las formaciones geológicas bajo la forma de aguas subterráneas. Estas representan aproximadamente unos 8 millones de km³. Una porción importante de este volumen está relativamente inmovilizada. Se trata de agua “fossilizada”, y que, por lo tanto, no circula. Otra parte, se recarga y descarga en los sistemas superficiales. Además de ser el receptáculo más significativo de agua, los océanos contienen grandes volúmenes de sales disueltas (3.5% del total) (Bethemont, 1980).

Por su parte, las aguas subterráneas presentan contenidos salinos variados. Las hay “dulces”, con bajos tenores en sales, salobres (con contenidos salinos intermedios), saladas (con salinidad alta pero no extrema) y verda-

deras salmueras (cerca del punto de saturación).

Poco más de medio milésimo del total del agua del planeta (0.06%) ocurre como agua superficial, o sea alrededor de 225,000 km³. Como más de la mitad de ésta es salobre o salada, solamente 0.02% (o sea 100,000 km³), puede ser catalogada como “agua dulce”.

De todas las aguas superficiales, 95% están almacenadas en lagos, por lo que los cursos de agua, ríos y arroyos, sólo contienen 0.001% del total, o sea “apenas” 10,000 km³

A pesar de esta proporción que parece pequeña al medirla en m³, el volumen resulta aún considerable. El agua dulce superficial total, sin contar el hielo, alcanza un total de cien billones (10¹³) de metros cúbicos, o cien mil billones de litros (10¹⁶). Si distribuyéramos esta cantidad entre todos los habitantes del planeta le correspondería a cada uno 18,000 metros cúbicos, o sea, ¡18 millones de litros por cápita!

A ello hay que agregar los acuíferos de agua dulce, que son 30 veces más abundantes que las anteriores. Si incluyéramos las aguas subterráneas en la distribución antedicha, el total por persona ascendería a 600,000 m³.

En términos abstractos, este volumen parece ser más que suficiente para satisfacer todas las necesidades humanas actuales y del futuro cercano.

En la realidad, las cantidades disponibles son mucho menores. En ellas no se puede tener en cuenta toda el agua almacenada, pues su utilización actual indiscriminada, limitaría su uso futuro. El agua disponible desde el punto de vista ambiental es tan sólo el agua renovable. En segundo lugar, hay que considerar que gran parte del agua renovable no es fácilmente accesible. Y finalmente, porque aún las aguas dulces, renovables y accesibles, no suelen estar situadas en los lugares en donde más se las necesita.

La ecuación hídrica

El ciclo del agua es un proceso complejo que incluye por un lado las precipitaciones (tanto bajo la forma de agua líquida como de nieve o hielo), que son las que periódicamente aportan agua a la superficie de la tierra, y por otro, la evaporación (tanto directa, como indirecta, a través de las plantas), la infiltración con o sin recarga de los reservóros subterráneos, el afloramiento de manantiales, y finalmente, el escurrimiento (superficial, torrencial, fluvial).

Desde el punto de vista matemático dicho ciclo acostumbra definirse a través de una fórmula generalmente denominada “ley de conservación”.

De acuerdo a ella, los parámetros hídricos principales a tener en cuenta son los siguientes:

P = precipitación
E = evaporación
Qs = caudal superficial
Qg = caudal subterráneo (geológico)
R = reservas
U = utilización en el ciclo biológico

A los efectos prácticos se integran Qs y Qg en un término único: Q.

Por otra parte se asume que R y U son constantes.

La fórmula simplificada sería:

$$P = E + Q$$

O dicho de otra forma:

$$Q = P - E$$

De ese modo se supone que el agua infiltrada va a reaparecer tarde o temprano para incorporarse a Q o para evaporarse.

En los hechos, la integración de Qs y Qg en un solo término y la eliminación de la infiltración de la fórmula, puede hacer perder de vista algunos aspectos del intercambio hídrico entre acuíferos y cuerpos de agua superficiales. Una vez que las aguas se infiltran, sus itinerarios subterráneos pueden ser muy complejos, y difíciles de determinar. Por ello, resulta conveniente incluir el flujo subterráneo como término separado.

Por otra parte, U no es constante. La dinámica de los sistemas naturales, y aún más importante, la influencia humana sobre los mismos, lleva a que U cambie incesantemente. Debido a múltiples factores, la cobertura vegetal, en muchas cuencas (sobre todo las densamente pobladas), está en permanente evolución. Por esa razón, el término U sufre constantes modificaciones que dificultan las evaluaciones.

Del mismo modo, R (las reservas) pueden experimentar disminuciones o aumentos afectando la precisión de los cálculos hidrográficos.

El agua renovable

De una forma u otra, con mayor o menor frecuencia o intensidad, este ciclo hidrológico local tiene lugar en todo el planeta, tanto en los continentes como en los océanos. El insumo básico del mismo son las precipitaciones, cuyo volumen se estima en unos 496,000 quilómetros cúbicos por año.

Esta cantidad es cuatro veces mayor al total contenido en todos los lagos y ríos. Si las precipitaciones se distribuyeran homogéneamente, su altura anual sería de 973 milímetros. Un 25% de este total cae en los continentes. Aunque sus precipitaciones medias son de apenas 696 mm por año, Asia recibe la mayor parte (28%) del agua caída. América del Sur con menos de la

mitad del área asiática recoge 25% debido a sus precipitaciones medias superiores (1,464 mm por año). El promedio africano es similar al de Asia, y el norteamericano ligeramente inferior (645 mm por año). Asumiendo que el agua almacenada en los acuíferos se mantuviera estable, se puede estimar que la evaporación a partir de los continentes alcanza 84% de las precipitaciones en África, 67% en Australia y 62% en América del Norte. En Asia y América del Sur las pérdidas por evaporación representan el 60% del agua caída; en Europa, 57%. Solamente en la Antártida la tasa es considerablemente menor (17%).

Limitando nuestros cálculos a las precipitaciones continentales (y restando el volumen evaporado que es aproximadamente un 60%) habría más de 80 mil metros cúbicos de agua anuales renovables disponibles para el consumo de cada persona en el planeta.

Las necesidades *per capita* varían de lugar a lugar, pero generalmente son inferiores a 1 metro cúbico por día y por persona, o sea unos 200-350 metros cúbicos por año.

Lo anterior muestra que la disponibilidad de agua para el consumo humano no se relaciona con su volumen, ni siquiera con su renovabilidad. Más bien, como explicaremos a continuación, depende de otros factores complejos, algunos de carácter natural, otros de naturaleza social.

Distribución y acceso

A pesar del enorme volumen de agua dulce que circula a través de los continentes anualmente, suficiente para satisfacer las necesidades de la humanidad por siglos, mucha gente en diversas partes del mundo no tiene acceso a este líquido vital.

Hay varias razones para que ello ocurra. En primer lugar, porque el agua dulce utilizable sólo existe en grandes cantidades en pequeñas áreas del planeta (los cursos bajos de los ríos, los grandes lagos y los acuíferos de elevado caudal). En segundo lugar, porque las aguas disponibles no son siempre adecuadas para el consumo humano, a veces por causas naturales, pero más frecuentemente como resultado de la degradación antrópica. En tercer lugar, no todos los recursos hídricos se renuevan a una tasa suficientemente apropiada como para su utilización a largo plazo. Finalmente, la demanda de agua está concentrada en unas pocas áreas densamente pobladas que no coinciden necesariamente con los lugares de mayor disponibilidad.

En resumen, las aguas de buena calidad y en suficiente cantidad como para ser utilizadas para satisfacer las necesidades de la población y la producción, no se encuentran fácilmente. La disponibilidad hídrica es uno de los principa-

los factores limitaciones para el crecimiento demográfico y económico.

Las aguas superficiales

Se denominan aguas superficiales aquellas que fluyen o están almacenadas sobre las tierras emergidas. En ese sentido, el agua oceánica está excluida del concepto. Si bien, desde un cierto punto de vista, es agua que se encuentra sobre la superficie de la corteza terrestre, desde otro ángulo, es agua que está relativamente inmovilizada debido a los grandes volúmenes y a la lentitud del proceso de renovación (que se produce debido a los fenómenos evaporativos). De acuerdo a Baumgartner y Reichel, la evaporación anual del agua de mar asciende a 424,700 quilómetros cúbicos por año, lo que representa 1/3000 del agua contenida en los océanos (cuyo volumen total es de 1,348 millones de quilómetros cúbicos). Se requieren, por ende, unos 3000 años para que el agua de mar se renueve completamente. En el caso de las aguas continentales el ciclo de renovación es de apenas 20 días.

El vapor de agua contenido en la atmósfera, así como las aguas condensadas o solidificadas en el aire (nubes, lluvia, granizo, nieve), pero que aún no ha tomado contacto con el suelo, tampoco se considera agua superficial.

Dentro de este marco lógico, el agua líquida atmosférica se transforma en superficial desde el momento en que toca la superficie de la tierra y deja de serlo al ingresar en las cubetas oceánicas.

En el caso de las precipitaciones que caen en forma sólida (granizo, nieve), es necesario además que los cristales de hielo se fundan, para poder, a partir de ese momento, ser considerados “aguas superficiales”.

El origen primario de éstas se encuentra en las precipitaciones líquidas y en las aguas de fusión de las precipitaciones sólidas. Si bien gran parte del agua superficial se nutre de manantiales o zonas de descarga de napas, de origen subterráneo, prácticamente toda ella es el resultado indirecto de recargas ocurridas a partir de precipitaciones caídas en algún lugar conectado hidrológicamente con el sitio de alumbramiento.

Los afloramientos de aguas termales, a veces muy calientes, e incluso vapor (por ejemplo, los géysers) son comunes en ciertas zonas volcánicas o tectónicamente activas. A pesar de que estas aguas pueden provenir de grandes profundidades y no es fácil establecer conexiones con los lugares de recarga se considera que, por lo menos la mayor parte, también se originan en lluvias, granizadas o nevadas ocurridas en tiempos pasados en el mismo u otros lugares.

Los sistemas hídricos

Las aguas superficiales ocurren en una gran diversidad de sistemas naturales: lagos y lagunas, cursos de agua de variado tamaño y dinámica, sistemas de humedales, etc. Todos estos cuerpos de agua son alimentados directa o indirectamente por tres fuentes principales: las lluvias (y su subsecuente escurrimiento), los manantiales (descarga de acuíferos) y la fusión de hielos o de nieves.

En los climas áridos tropicales y templados, los cursos de agua se nutren principalmente a partir del escurrimiento instantáneo. La precipitación cae en los suelos desnudos, con poca o ninguna infiltración, fluyendo luego ladera abajo hacia los valles fluviales. En estos ambientes los ríos tienen regímenes irregulares y pueden dar lugar a inundaciones catastróficas o sequías.

En los ambientes húmedos ocurre lo contrario. Los suelos están cubiertos por vegetación y el agua de lluvia es interceptada por hojas y ramas. La mayor parte del agua se evapora o se infiltra y solo una pequeña fracción da lugar a corrientes superficiales. Bajo tierra, el agua fluye a través del subsuelo resurgiendo como manantiales cerca de los cursos de agua, lagos o humedales. Por esa razón, la mayor parte del agua proviene de los manantiales, mientras que en las zonas áridas se origina principalmente a partir de los procesos de escurrimiento.

Debido a las tasas de evaporación más elevadas y la presencia de sales en el suelo, el agua de los ambientes áridos contiene una mayor concentración de sólidos disueltos.

En los ambientes húmedos sucede lo contrario (ver capítulo 2 y 7). Ello determina que la disponibilidad de agua en las regiones húmedas sea regular y permanente, mientras que en las zonas áridas sea irregular y esporádica. Por esa razón, las estrategias requeridas para obtener el recurso hídrico deben variar de acuerdo a las condiciones geoclimáticas regionales y locales.

Los procesos hídricos superficiales

Las aguas que caen sobre la superficie o manan del interior del suelo pueden escurrirse, evaporarse, infiltrarse o “estacionarse”, dependiendo de la pendiente y la permeabilidad de los materiales superficiales.

Cuando los suelos son impermeables y las pendientes empinadas, el agua puede comenzar a escurrir una vez que se satura la película superficial del suelo. Si las pendientes son muy escasas, el agua corre más lentamente. En superficies horizontales el drenaje es difícil y el escurrimiento superficial puede ser nulo o prácticamente inexistente. Del mismo modo, cuando el material del suelo es permeable, gran parte del agua se infiltra, disminuyen-

do la magnitud de los procesos de escurrimiento.

A ello hay que agregar una cierta porción que se evapora apenas toca la superficie de la tierra, o durante las primeras etapas de su flujo superficial. La evaporación es mayor en climas cálidos y áridos, donde la temperatura del aire es más elevada y la humedad relativa más baja.

En las zonas cubiertas de vegetación un porcentaje considerable del agua es interceptado por la vegetación, permaneciendo sobre las hojas, ramas y tallos bajo la forma de una película delgada, evaporándose sin siquiera tocar el suelo.

En las selvas tropicales húmedas, la intercepción puede alcanzar hasta un 20% del total de la lluvia caída. Esa cantidad es mucho menor en las praderas y sabanas, donde en general no excede de 10%. En las estepas y desiertos esta cifra tiende a cero.

Gran parte del agua que se infiltra en los horizontes superiores del suelo, es absorbida por las raíces de las plantas disminuyendo la cantidad que queda disponible para el escurrimiento posterior.

Por esas razones, no toda el agua que cae (bajo forma líquida o sólida), o mana del subsuelo, contribuye a los procesos de escurrimiento hídrico. Los porcentajes de agua escurridas (“runoff”) varían considerablemente, dependiendo de la intensidad y cantidad de la lluvia, de la temperatura, de la cobertura vegetal, de las pendientes y de los materiales de superficie.

Hay lugares y momentos en que, en forma predominante, el agua caída se escurre, por ejemplo, en suelos impermeables o saturados, sin vegetación, con pendientes fuertes. En otros casos, toda el agua precipitada se infiltra o evapora, sin que haya ningún flujo superficial apreciable.

Las cuencas hidrográficas

El agua que escurre sobre las diversas áreas continentales se dirige hacia las partes deprimidas del relieve. El escurrimiento superficial tiende a organizarse a partir de las zonas elevadas dando lugar a valles, planicies fluviales y lacustres, humedales, salinas, deltas, estuarios y otros elementos morfológicos. El conjunto de estos elementos paisajísticos se estructuran alrededor de ejes y desembocaduras comunes en las llamadas *cuencas hidrográficas*.

Las cuencas hidrográficas son configuraciones complejas incluyendo tanto agua superficial como subterránea, categorías hidrológicas estrechamente relacionadas que deben ser consideradas como un conjunto continuo.

Los principales componentes de una cuenca hidrográfica típica son la *cuenca de recepción* propiamente dicha, la red hidrográfica y los sistemas de

aguas subterráneas asociados..

Estos tres elementos están interconectados: las cuencas de recepción reciben las precipitaciones, éstas a su vez se infiltran en los sistemas subterráneos o fluyen hacia los valles formando ríos y arroyos. Parte de las aguas subterráneas pueden regresar a los cursos de agua y los caudales de éstos contribuyen a recargar los acuíferos subyacentes.

Una porción del agua es reevaporada pudiendo precipitarse nuevamente en las cuencas de recepción, completando el ciclo.

En general, el sistema es abierto, pues la mayoría de las cuencas egresan hacia el mar o a otro cuerpo de agua mayor. La desembocadura de la cuenca es también la vía de salida para los sedimentos, las sales disueltas y los contaminantes.

Las principales cuencas fluviales

La cuenca más extensa del mundo es la del río Amazonas en América del Sur. Su superficie es casi 7,180,000 km², un 4.8% de las tierras emergidas y 6.2 % de las regiones exorreicas. Las lluvias anuales promedio de la cuenca son de unos 2000 mm por año. La combinación de amplia superficie de recepción y lluvias intensas genera el caudal hidrográfico más voluminoso del planeta, que asciende a 190,000 m³ por segundo, 15.1% de la circulación hídrica total.

La segunda cuenca en extensión y caudal es la del río Congo en África Central. Su extensión es más de la mitad de la amazónica, 3,822,000 km², con una media de precipitaciones de aproximadamente 1000 mm al año. El caudal es también muy importante, aunque bastante menor que la cuenca amazónica (42,000 m³ por segundo en su desembocadura).

La mayor cuenca de Asia es la del río Yangtze en China. Su superficie es de 1,970,000 km² y su caudal terminal 35,000 m³ a nivel del delta.

La cuenca del Mississippi- Missouri, el río más largo del mundo, también tiene un área muy extensa, 3,224,000 km², pero su caudal es sensiblemente menor que los cursos de agua anteriormente mencionados: 17,700 m³.

Los ríos europeos, tan conocidos por su importancia histórica o económica, poseen, en realidad, cuencas de pequeño tamaño y volumen hídrico. El caudal del Volga es de unos 8,000 m³, el del Danubio, 6,300 m³ y el Ródano, apenas 1,850 m³.

El efecto antrópico, generalmente asociado con la deforestación, se manifiesta en la degradación específica (medida en toneladas erosionadas por km² y por año; ver cuadro 3.1), donde las zonas más densamente po-

Cuadro 3.1
Principales cuencas hidrográficas:
Caudal líquido, sólido y degradación específica³

Cuencas Ríos	Area miles de km ²	Caudal m ³ / segundo	Caudal sólido ⁴ km ³ /año	Degradación específica ⁵	
				l ⁰ /año	ton/km ² /año
Amazonas	7,180	190.000	6,000	900	125
Congo	3,822	42.000	1,330	31	8
Yangtze	1,970	35,000	2,200	478	242
Orinoco	1,086	29,000	915	210	193
Brahmaputra	589	20,000	630	s.d.	s.d.
R. de la Plata	2,650	19,500	615	s.d.	s.d.
Yenisei	2.599	17,800	565	s.d.	s.d.
Mississippi	3.224	17,700	560	500	155
Lena	2.430	16,300	515	16	7
Mekong	795	15.900	500	160	201
Ganges	1,073	15,500	490	1670	1,556
Irawadi	431	14,000	440	285	661
Obi	2,950	12,500	395	s.d.	s.d.
Si Kiang	435	12.500	365	s.d.	s.d.
Amur	1,843	11,000	350	s.d.	s.d.
San Lorenzo	1,030	10,400	330	s.d.	s.d.
Magdalena	240	7500	237	220	917
Huang Ho	814	1550	49	49	1327

bladas experimentan erosión más acelerada (casos de los ríos Ganges en la India, el Huang Ho¹ en China y el Magdalena en Colombia²).

Las cuencas menores

Además de las grandes cuencas señaladas en el cuadro precedente, existen numerosas cuencas individuales de menor tamaño. Algunas son de carácter endorreico (sus aguas no fluyen hacia el mar), pero la gran mayoría son exorreicas, con desembocaduras oceánicas.

A los efectos de su análisis hidrológico y utilización, todas las cuencas hidrográficas pueden ser divididas en subcuencas. Desde el punto de vista práctico, las subcuencas pueden ser caracterizadas y manejadas utilizando

los mismos elementos y parámetros de las cuencas principales. La única diferencia, debido a su “rango taxonómico”, es que, para comprender el funcionamiento combinado de ellas, las subcuencas de una misma cuenca mayor deben ser consideradas como parte del conjunto.

Las cuencas menores son normalmente más sencillas de manejar que las grandes cuencas debido a su pequeño tamaño, que generalmente, aunque no necesariamente, se traduce en una menor complejidad. Por esa razón, a los efectos de una mejor gestión, a veces es preferible dividir las cuencas principales en unidades hidrográficas secundarias. De todas maneras, en ciertos aspectos que tienen que ver con los impactos aguas debajo de las confluencias de las subcuencas, se hace necesario integrar los datos y coordinar las intervenciones.

Los diseños de drenaje

Las redes de drenaje o hidrográficas contienen, a la vez, un registro de la historia geológica local y expresan las condiciones geomorfológicas que dieron lugar al modelado de los valles.

La profundidad de los entalles se relaciona con la tenacidad o friabilidad de los materiales, la pendiente y los regímenes de flujo a nivel de los lechos fluviales. Las direcciones y dibujos longitudinales de los valles están sobre todo condicionadas por las estructuras geológicas, los sistemas de fracturas y las fallas.

La densidad hidrográfica es, principalmente, el resultado de la intensidad del escurrimiento y la erodibilidad de los materiales.

Los diseños de drenaje son en cierto modo una integración de los elementos y factores antes mencionados.

Cuando los materiales geológicos son homogéneos las redes hidrográficas tienen a asumir una forma arborescente (dendrítica), fluyendo desde las ramas (afluentes) hacia el tronco (valle principal).

Cuando el sustrato es heterogéneo, o contiene direcciones de debilidad especial (por ejemplo fracturas) la dirección de flujo se sale del molde dendrítico, los tramos fluviales pueden volverse más rectilíneos y las curvas se hacen más angulosas. En situaciones extremas, el diseño es de tipo “enrejado”.

En algunos casos especiales, conos volcánicos, dunas “estrellas” y domos de sal, etc., las direcciones de drenaje pueden hacerse radiales centrífugas, y en otros, como dolinas, cráteres volcánicos o meteoríticos y ciertos circos glaciares, radiales centrípetos.

Finalmente, cuando la energía de relieve es muy escasa, o hay obstrucciones eólicas o de otro tipo, el agua no logra excavar valles, y los diseños



En algunas regiones áridas y semiáridas los lagos de agua dulce representan verdaderos oasis para las poblaciones locales. El Lago Titicaca, situado a más de 3,800 metros sobre el nivel del mar, concentra gran parte de la población del Altiplano boliviano que subsisten de la agricultura y de la pesca.

de drenaje son desorganizados o cambiantes (anastomosados).

Algunos ejemplos de diseños de drenaje se describen en el recuadro de la página 50.

Los modelos conceptuales

Antes de que la acción humana introdujera perturbaciones que modificaran radicalmente el paisaje, el caudal de los cursos de agua dependía exclusivamente de los factores naturales. Entre ellos se encuentran el tamaño de la cuenca, el clima en general, y más especialmente, las precipitaciones, la evaporación, tanto directa como transpirativa, la cobertura de vegetación, la descarga de los manantiales y las características geológicas del terreno.

Este complejo de elementos se integran en el terreno generando regímenes hídricos particulares en cada zona del planeta. A medida que los relieves evolucionan desde el punto de vista geo-ecológico, las cuencas también cambian de forma y de dinámica. Estas alteraciones quedan registradas de diversas maneras en el paisaje, que al fin, pasan a ser un registro integrado de la historia de la superficie de La Tierra.

El análisis detallado de las cuencas es una tarea compleja. En primer lu-

Tipos de drenaje

1. Dendrítico

Precipitaciones homogéneas, materiales homogéneos y friables, pendientes suaves a moderadas, escurrimiento superficial actual o pasado importante

2. Subdendrítico

Variedad del anterior. La diferencia es que los materiales no son totalmente homogéneos, o que hay una débil influencia estructural que no llega a manifestarse completamente.

3. Pinado

Se da en ciertos ambientes geológicos en que los interfluvios son estrechos y alargados, y con materiales friables.

4. Paralelo y rectangular

Generalmente influenciado por un sistema de fracturas paralelas o rectangulares. La orientación de los valles tiene control estructural.

5. Rómbico

Como el rectangular pero con ángulos agudos/ obtusos entre los sistemas de fracturas.

6. Subparalelo y subrectangular

Donde los sistemas de fracturas son numerosos o están mal definidos, o donde el control estructural es menos importante que en el anterior.

7. Radial (centrífugo)

Se da en conos volcánicos, domos volcánicos o salinos.

8. Radial (centrípeto)

Se da en cubetas endorreicas, circos de origen glaciár, cráteres volcánicos y meteóricos, dolinas, cuencas de depresiones en clima árido, cuencas de sabkhas interiores

9. Discontinuo

En zonas de dunas,

10. Desorganizado

En zonas volcánicas (vulcanismo reciente) y kársticas.

11. Microcuencas

Drenaje de pequeñas cubetas u "ojos de agua" a donde fluye el agua de las zonas más altas. Se le encuentra en zonas que sufrieron procesos de deflación, las depresiones de deflación se transforman en pequeños lagos (en general de unas pocas decenas de metros de largo).

12. Anastomosado, meándrico

En zonas llanas donde el agua tiene dificultad para fluir debido a las bajas pendientes.

13. Sin drenaje

Grandes sabkhas y salinas, ciertos humedales



Las cataratas de Iguazú, compartidas por Argentina y Brasil, se forman cuando las aguas del río Iguazú se vierten desde la escarpa basáltica del Planalto rumbo a las tierras más bajas del valle del Paraná.

gar por la innumerable cantidad de componentes y parámetros físicos que influyen en su dinámica, y en segundo lugar, como resultado de la presencia y acción de los elementos biosféricos, cuya previsibilidad es limitada.

Por esa razón, tanto el modelado conceptual como el matemático de las cuencas hidrográficas debe encararse tan sólo como una aproximación.

Si se introduce la acción humana, dichos modelos son aún más problemáticos. Las sociedades humanas cambian aceleradamente y resulta muy difícil prever su evolución tanto a nivel local, como regional y global.

De todos modos, más allá de estas limitaciones que son típicas de todas las simplificaciones, los modelos pueden ser excelentes herramientas cognitivas, y su utilización es oportuna en muchas situaciones específicas. La aplicación de modelos hidrológicos, tanto conceptuales como matemáticos, ha permitido desarrollar complejas tecnologías hidráulicas que constituyen un soporte fundamental en las sociedades urbanas contemporáneas.

La acción humana como factor

hidrológico de las cuencas

El avance de las sociedades agro-urbanas e industriales ha agregado un nuevo factor en 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), influencias sobre el clima y micro-clima, las excavaciones y construcciones en laderas y cimas.

Por esa razón las cuencas hidrográficas deben ser estudiadas teniendo en cuenta, no sólo los componentes naturales del sistema, sino también los diferentes modos de ocupación territorial.

Esta se hace sentir en los interfluvios por medio de la deforestación, “apertura” de campos para la agricultura y urbanización. Como resultado de estas modificaciones se producen impactos intensos que luego se han de manifestar a nivel de los caudales instantáneos y anuales de los lechos. Cambian el albedo y características térmicas de la superficie que se calienta más rápido durante los días y se enfría mucho más en las noches. Al desecharse la cobertura vegetal, o al disminuir su densidad, se reduce la permeabilidad de la superficie, se incrementa el escurrimiento instantáneo, las partículas del suelo son erosionadas, generándose inundaciones y sedimentación en los valles y llanuras aluviales. Del mismo modo, la acumulación de sedimentos en las cañadas de alta montaña suele favorecer la formación de flujos de lodos. Las construcciones también tienen efectos degradatorios: pueden modificar la configuración del drenaje, destruyen o sustituyen la vegetación nativa e introducen elementos orográficos artificiales con impacto generalmente negativo.

Referencias

1. El río Huang Ho es también conocido como río Amarillo.
2. Es importante resaltar el caso del río Magdalena en Colombia, pues a pesar de no tratarse de una cuenca tan densamente poblada presenta tasas de erosión muy elevadas.
3. Tomado de Bethemont, J., 1980
4. Tomado de Ouillon, Sylvain, 1993; *Modélisation Mathématique de l'hydrodynamique à surface libre et du transport en suspension de sédiments non cohesifs*; Tesis de Doctorado; Institut National Polytechnique de Toulouse.
5. Ref. Ouillon, S., op. cit.