

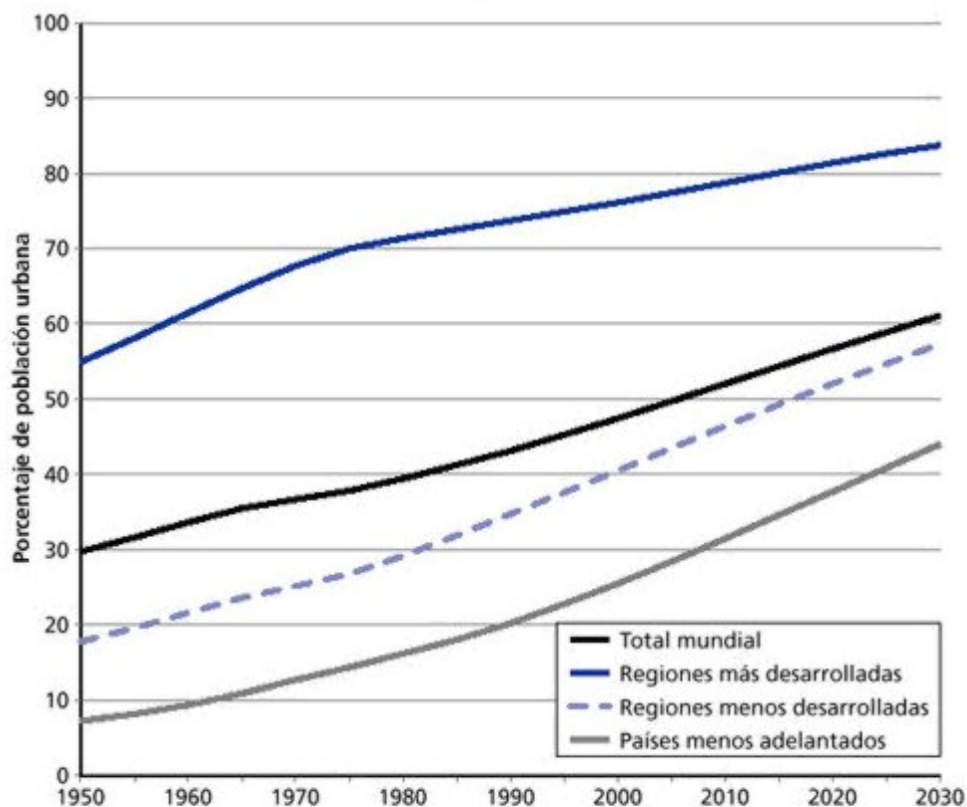
## **UNIDAD Nº 1: Conceptos de planificación y diseño de sistemas de drenaje urbano**

### **1.1. LOS PROCESOS DE URBANIZACIÓN Y SUS EFECTOS**

Los procesos de urbanización son cada vez mayores en el mundo. En los últimos 40 años se ha acelerado el desplazamiento de personas hacia las ciudades, en particular en las regiones menos desarrolladas.

La población mundial estimada al año 1999 era de 6000 millones de personas (United Nations Population Fund, 1999). La proporción de la población mundial que vive en zonas urbanas aumentó del 33% en 1960 al 47% en 1999. En las regiones menos desarrolladas, la población urbana pasó del 22% al 40%, mientras que en las regiones más desarrolladas, aumentó del 61% al 76% (Figura Nº 1.1).

Figura Nº 1.1: Tendencia mundial de la urbanización (Fuente: United Nations Population Fund UNFPA, 1999).



Fuente: World Urbanization Prospects (The 1996 Revision).

Entre las regiones menos desarrolladas, *América Latina y el Caribe es urbana en más de un 75%*, proporción similar a la de Europa, América del Norte y el Japón (todas las cuales tienen proporciones de entre 75% y 79%).

Según las proyecciones, se prevé que hacia 2030 vivirán en ciudades casi 5.000 millones (61%) de los 8.100 millones de habitantes del mundo. *América Latina y el Caribe tendrá un porcentaje mayor de residentes en ciudades que el de Europa.*

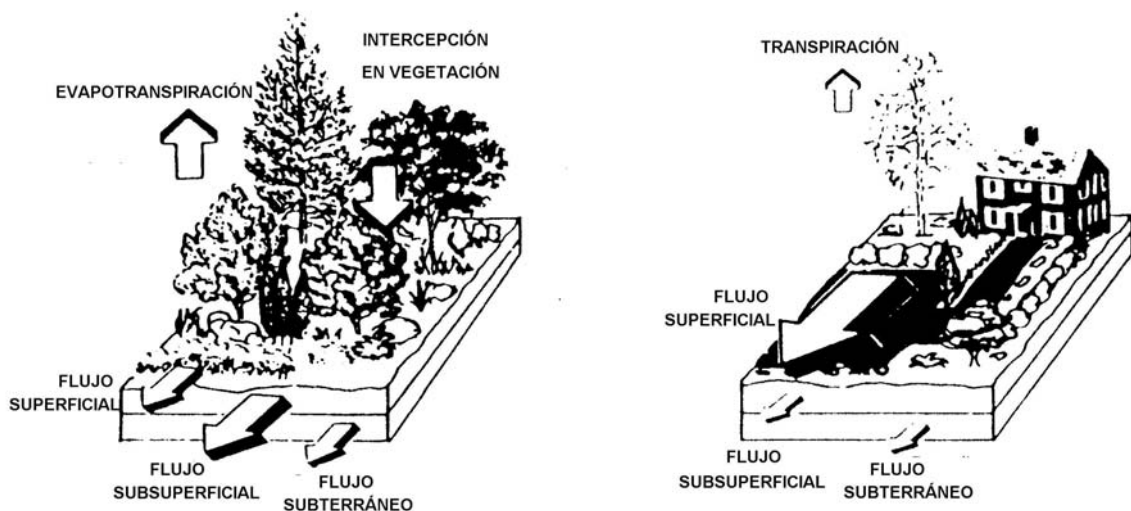
### 1.1.1. Efectos hidrológicos de la urbanización

Los procesos de urbanización impactan fuertemente sobre el medio natural, ya que generan un aumento de la cobertura impermeable de los suelos y de la capacidad de drenaje. Estas modificaciones originan importantes cambios en el comportamiento hidrológico de las cuencas con respecto a las condiciones previas al desarrollo.

Los principales efectos hidrológicos de la urbanización son los siguientes:

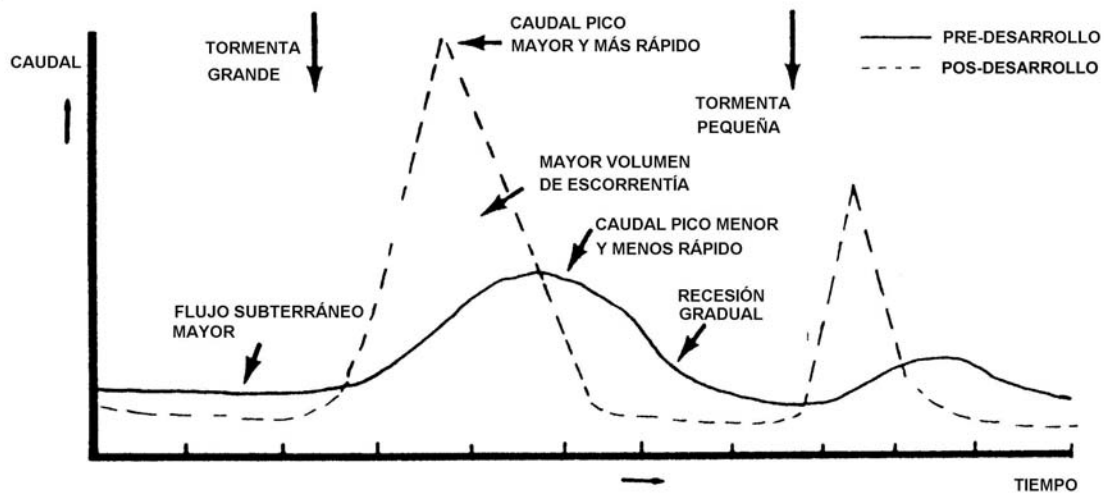
- a) *Aumenta el escurrimiento total:* en condiciones naturales (pre-desarrollo), las pérdidas de escurrimiento totales por evapotranspiración, interceptación en cobertura vegetal, almacenamiento superficial e infiltración suelen ser significativas respecto a la precipitación. En el pos-desarrollo, el incremento de la superficie impermeable origina una reducción de las pérdidas de escurrimiento, principalmente por infiltración y almacenamiento en depresiones, por lo que aumenta el flujo superficial y disminuyen los flujos subsuperficial y subterráneo y (Figura N° 1.2.a).

Figura N° 1.2.a: Efectos hidrológicos de la urbanización (Fuente: Water Environment Federation, 1992).



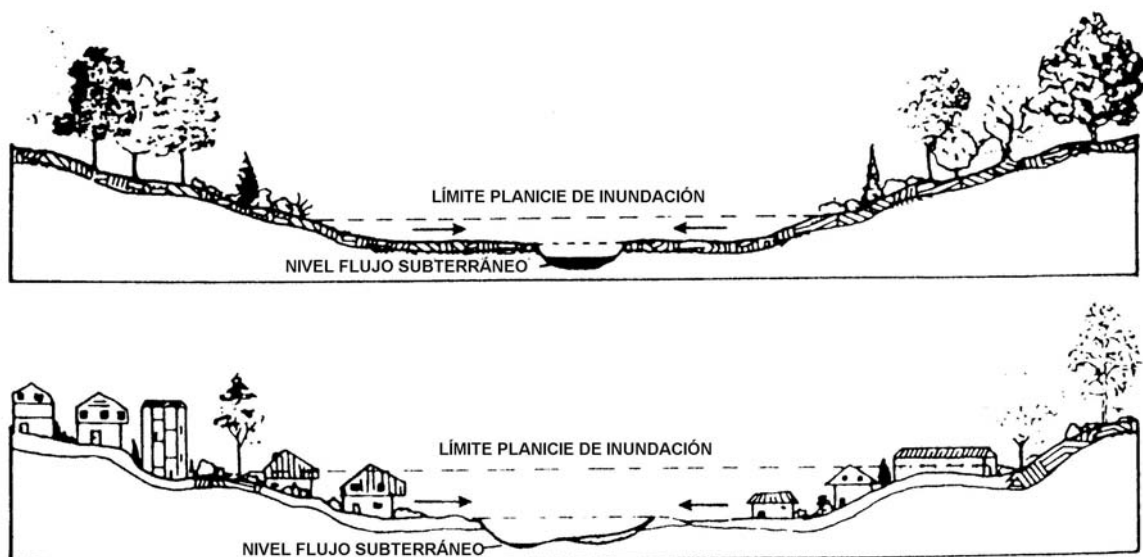
- b) *La distribución temporal del escurrimiento es más rápida:* La incorporación de cunetas, conductos y canales aumentan la velocidad del flujo, originando tiempos al pico y de base más cortos (aumenta la eficiencia hidráulica del sistema). Durante los períodos húmedos, los caudales de los cursos urbanos aumentan. En cambio, durante los períodos secos los caudales suelen disminuir. Esto último se debe a la disminución de la infiltración y del flujo base (Figura N° 1.2.b).

Figura N° 1.2.b: Efectos hidrológicos de la urbanización (Fuente: Water Environment Federation, 1992).



- c) *Los caudales y niveles pico son mayores:* los caudales pico aumentan con la urbanización, como consecuencia de un mayor volumen escurrido en un tiempo más corto. Adicionalmente, la ocupación del valle de inundación puede disminuir su capacidad de conducción y originar un aumento adicional de los niveles máximos (Figura N° 1.2.c).

Figura N° 1.2.c: Efectos hidrológicos de la urbanización (Fuente: Water Environment Federation, 1992).



Las urbanizaciones son sistemas *dinámicos*, en permanente evolución. En Latinoamérica, los aumentos de los caudales pico originados por la urbanización usualmente no son acompañados por un adecuado reacondicionamiento de los desagües principales y éstos ven superada su capacidad de conducción al cabo de su vida útil. A esto se suma, en general, una inadecuada gestión de los residuos sólidos urbanos, lo que contribuye a la obstrucción de bocas de tormenta, conductos y canales, reduciendo su capacidad (Figura Nº 1.3).

Figura Nº 1.3: Canal de desagüe parcialmente obstruido por basura.



Como consecuencia, son frecuentes los anegamientos urbanos de origen pluvial, con severos perjuicios sobre el medio socio-económico (Figura Nº 1.4).

Figura Nº 1.4: Anegamiento de origen pluvial.



La urbanización tiene un mayor impacto sobre las lluvias frecuentes que sobre las lluvias extremas.

Las modificaciones de la respuesta hidrológica generadas por la urbanización pueden ser muy significativas. En casos extremos, el caudal pico de la crecida del pos-desarrollo puede llegar a ser hasta 6 veces mayor que el caudal pico del pre-desarrollo, para una misma tormenta.

### **1.1.2. Efectos sobre los cuerpos de agua receptores**

En muchas ocasiones, las urbanizaciones se asientan a orillas de cuerpos de agua con el objeto de utilizar éstos con fines múltiples (agua para consumo e industria, disposición de efluentes y otros). Los principales efectos de la urbanización sobre estos cuerpos son los siguientes:

#### *a) Sobre la calidad del agua:*

*Un efecto típico de las urbanizaciones medianas y grandes es el deterioro de la calidad de los cuerpos de agua receptores del escurrimiento urbano:* la contaminación presente en las aguas pluviales urbanas es una de las principales causas de deterioro de estos cuerpos, principalmente lagos y ríos cercanos a grandes ciudades (U.S. EPA, 1990). Dicha contaminación se debe fundamentalmente al lavado que produce la lluvia de contaminantes acumulados sobre las superficies impermeables, originados por las actividades urbanas, como emanaciones de motores e industrias, desgaste de cubiertas de vehículos sobre el pavimento, basuras y otros.

#### *b) Sobre la geomorfología:*

Los cursos naturales parecen estar en “equilibrio” geomorfológico. Este equilibrio es relativo, ya que continuamente ocurren cambios debidos a procesos de erosión y sedimentación.

El tamaño, la forma y la pendiente de un curso son funciones de variables interrelacionadas, tales como la textura del suelo, el ancho, la profundidad y la rugosidad hidráulica del cauce, la velocidad y pendiente del flujo, la carga y tamaño de los sedimentos transportados y el caudal. Un curso estable es aquel que alcanza una pendiente que provee la velocidad requerida para transportar el sedimento suministrado por la cuenca de drenaje.

Cualquier cambio en los factores de control causa desplazamientos del equilibrio en alguna dirección, que tiende a absorber el efecto del cambio.

*La urbanización rompe el equilibrio natural de los cursos,* ya que origina un aumento de la escorrentía y una reducción de la carga de sedimentos, por lo que pueden surgir procesos de erosión. Los efectos pueden ser minimizados por dispositivos apropiados, tales como almacenamientos de detención y medidas de control de la erosión. Si tales efectos no son minimizados, el curso natural modificará su forma y pendiente para acomodarse a las nuevas condiciones.

### **1.1.3. Efectos sobre el microclima urbano**

Las urbanizaciones medianas y grandes también generan modificaciones sobre el microclima local, aunque son de pequeña escala. La cuantificación de esas variaciones es bastante difícil debido a que los cambios se desarrollan en forma lenta y continua. Se ha encontrado que la precipitación aumenta entre un 5 y 10% y la temperatura del aire aumenta entre 0.5 a 1.0 °C o más respecto de la zona rural próxima.

## 1.2. LA HIDROLOGÍA URBANA Y SU EVOLUCIÓN HISTÓRICA

La *hidrología urbana* es la rama de la hidrología que estudia la hidrología de las zonas urbanas, en donde predominan las superficies impermeables y el relieve artificial de terreno, analizando en particular el efecto del desarrollo urbano (UNESCO-WMO, 2001).

Desbordes (1987) identificó tres etapas diferenciadas en la hidrología urbana: a) sanitarista o higienicista, b) de racionalización del cálculo hidrológico-hidráulico y c) ambientalista, superpuesta en parte a la anterior.

### a) *Etapas sanitarista o higienicista*

Los desagües pluviales primitivos más conocidos son los conductos subterráneos de la antigua Roma. La práctica de esa época era evacuar los desechos y excrementos mediante canales a cielo abierto o arrojarlos a fosos.

Siguiendo la práctica romana, los primeros desagües construidos en Europa y en los Estados Unidos tuvieron como único fin la evacuación de aguas pluviales.

Las graves epidemias urbanas de cólera y fiebre amarilla, que se sucedieron durante el siglo XIX, pusieron a la luz la correlación entre estas enfermedades y la ausencia de un correcto drenaje de las aguas residuales urbanas. Esto contribuyó a impulsar un movimiento "higienicista": se comprendió la necesidad de una captación sistemática de las aguas servidas y de su evacuación lejos del lugar de producción.

En 1842, se construyó la primera red "moderna" de drenaje urbano en la ciudad de Hamburgo (Alemania), basada en un *drenaje combinado o unitario* de las aguas pluviales y residuales. Este nuevo concepto se extendió rápidamente a las principales ciudades de Europa durante la segunda mitad del siglo XIX. Las dimensiones de los colectores construidos en esa época superaban largamente las necesidades de drenaje. De acuerdo a los criterios que por entonces se tenían, las redes de drenaje debían albergar redes de otros servicios. A fin de facilitar el mantenimiento y limpieza de la red, los colectores debían poder ser visitados caminando sin mojarse los pies. Esto explica la construcción de conductos de sección ovoide de grandes dimensiones, con una solera con cuneta y veredas laterales (Figura N° 1.5). El cálculo de caudales sólo se hacía para determinar la profundidad de las cunetas.

Figura N° 1.5: Confluencia de conducciones "visitables" (Barcelona, España).





Si bien en el siglo XIX se produjeron avances importantes en la hidrología e hidráulica, la hidrología cuantitativa aún no estaba consolidada a principios del siglo XX. Se empleaban aproximaciones empíricas para resolver los problemas hidrológicos prácticos.

### **b) Etapa de « racionalización » de los cálculos hidrológico-hidráulicos**

Gradualmente, los hidrólogos reemplazaron el empirismo con el análisis racional de la información observada. Los avances en hidrología se trasladaron al ámbito urbano, dando lugar a nuevas metodologías para el diseño de los sistemas de drenaje.

Esto también estuvo incentivado para solucionar graves problemas de inundación originados por el rápido crecimiento de las ciudades y el déficit de las infraestructuras de drenaje. En los países desarrollados, los primeros problemas serios ligados al escurrimiento urbano aparecieron a mediados del siglo XX. El éxodo rural hacia las ciudades y el crecimiento del consumo del agua debido a la evolución del equipamiento sanitario domiciliario, provocaron un aumento importante de las aguas servidas. A su vez, generaron una degradación creciente en la calidad de los cuerpos receptores.

El *sistema separado* fue entonces adoptado definitivamente para mejorar el funcionamiento de las instalaciones de depuración.

En los países más desarrollados comenzaron a difundirse manuales e instructivos para el diseño, construcción y operación de los componentes de los sistemas de drenaje urbanos (ej. Hydrology of a Highway Stream Crossing (1961), Hydraulic Charts for the Selection of Highway Culverts (1965), Drainage of Highways Pavements (1969), Hydraulic Engineering Circulars, U.S. Federal Highway Administration).

En las décadas siguientes, se produjo un notable avance en el conocimiento de los fenómenos ligados a la cantidad de agua.

Desde principios de la década 1970-1980, la modelación matemática por computadora se convirtió en una herramienta importante para el planeamiento, diseño y operación de los sistemas de drenaje. Los modelos matemáticos se incorporaron rápidamente a la práctica ingenieril, debido a su flexibilidad para representar distintas condiciones de funcionamiento de una cuenca, en forma ágil y a bajo costo.

Paralelamente a la modelación matemática, se desarrollaron modelos físicos de componentes individuales del sistema de drenaje, como bocas de tormenta, alcantarillas, obras de transición, disipadores de energía y otros. Entre estos desarrollos, pueden mencionarse los ensayos de sumideros realizados por la Universidad John Hopkins (1956). La Figura N° 1.6 muestra un dispositivo para ensayos de flujo en calzada y sumideros, utilizado para la determinación de curvas de eficiencia de distintos tipos de rejillas, para distintas combinaciones de pendientes longitudinales y transversales (Gómez Valentín M. y otros, 2000).

Figura Nº 1.6: Dispositivo para ensayos de flujo en calzada y sumideros (Fuente: Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2000).



### c) *Etapas Ambientalista*

En las etapas previas predominó el concepto tradicional de *drenaje urbano*: conjunto de medidas destinadas a remover las aguas pluviales de las áreas urbanas, de la forma más eficiente posible y a minimizar los perjuicios y riesgos de las inundaciones.

Durante mucho tiempo, las medidas fueron principalmente estructurales, consistentes en la elaboración de proyectos y ejecución de obras de drenaje, como bocas de tormenta, cunetas, conductos y canales.

Si bien las medidas estructurales son necesarias para la solución de muchos problemas, en casos complejos suelen tener un costo elevado y no son suficientes por sí solas para obtener una solución eficaz y permanente.

A comienzos de la década 1970-1980, se introdujo un enfoque sistémico y ambientalista en la hidrología urbana, que continúa hasta la actualidad. Se instala una concepción más integrada de los procesos: *el drenaje* del agua pluvial pasa a ser concebido y tratado como *una parte* de un concepto más amplio: *el manejo del agua pluvial urbana* (Urban Stormwater Management).

El manejo del agua pluvial urbana es el conjunto planificado de medidas estructurales y no estructurales destinadas a administrar el agua pluvial urbana de una manera integral, racional y sustentable.



La ventaja del concepto de *manejo* es que el drenaje urbano puede ser interrelacionado con otras funciones, tales como regulación de crecidas, recarga de acuíferos, abastecimiento de agua, creación de espacios abiertos para usos recreativos y otros.

El abordaje de estos problemas se comenzó a realizar de manera interdisciplinaria, ya que involucra aspectos técnicos, ambientales, institucionales, legales, económicos y sociales.

Comenzaron a difundirse algunos cambios en las prácticas de manejo de las aguas pluviales urbanas respecto de los años anteriores. Se incorporaron técnicas de ingeniería "conservacionistas", que permiten preservar el ambiente y mejorar la eficiencia en el manejo del agua pluvial. Los principales cambios fueron:

- a) Aumentó el interés en la evaluación y mitigación de los impactos adversos de la escorrentía urbana sobre la calidad de agua de los cuerpos receptores.
- b) Se comenzó a considerar a la cantidad y calidad del agua como variables del mismo problema y a tratarlas en conjunto. Al efecto, se incorporaron las denominadas "*Prácticas de Buen Manejo (BMP)*" o "*Técnicas Compensatorias de Infiltración-Retención (TECIR)*", como los dispositivos de detención y de retención, trincheras o cuencas de infiltración, prácticas vegetativas y pavimentos porosos.
- c) Aumentó el énfasis sobre la preservación y mejoramiento de las vías de drenaje naturales.
- d) Aumentó la importancia asignada a las medidas preventivas no estructurales. Algunos planes directores establecieron requerimientos mínimos de control de los excesos pluviales, de modo que el caudal pico del posdesarrollo, para una tormenta de diseño de una duración y recurrencia dadas, sea igual o menor que el correspondiente al predesarrollo.

La Figura Nº 1.7 muestra una dársena de estacionamiento permeable, como ejemplo de técnica de infiltración.

Figura Nº 1.7: Ejemplo de técnica de infiltración (Barcelona).



La *regulación de caudales* en cuencas urbanas, que no era ampliamente usada antes, es ahora una práctica común en urbanizaciones pequeñas y grandes y su uso está previsto en planes directores de drenaje urbano.

Los dispositivos de detención y retención permiten amortiguar las ondas de crecida y, en consecuencia, reducir las dimensiones y costos de las conducciones aguas abajo.

En cuanto a la remoción de contaminantes, los dispositivos de retención son más aptos para mejorar la calidad del agua, debido a que retienen el agua por períodos prolongados, permitiendo una mayor deposición en el fondo del dispositivo de sedimentos y polutos no solubles suspendidos en el agua. Adicionalmente, las plantas acuáticas presentes en estos dispositivos pueden mejorar la calidad del agua por consumo de algo de los poluentes solubles e incorporación de ellos al tejido vegetal.

A modo de ejemplo de un dispositivo regional, en las Figuras N° 1.8.a y N° 1.8.b se muestran las etapas constructivas de un depósito subterráneo de regulación en la ciudad de Barcelona (2000).

Figura N° 1.8: Etapas constructivas de un depósito de detención (Barcelona, 2000).



(a)



(b)

La planta es rectangular de 140 m x 122 m, una profundidad máxima de 11.5 m y una capacidad total de 145000 m<sup>3</sup>. Sobre la cubierta del depósito existe actualmente una playa de estacionamiento. Las compuertas de entrada y salida son accionadas en forma automática desde un centro de control, donde se recibe información del estado del sistema de drenaje en tiempo real, a través de sensores de nivel de agua y de lluvia.

La Tabla N° 1.1 resume las principales diferencias entre el nuevo concepto de manejo del agua pluvial y el concepto tradicional de drenaje.

Tabla N° 1.1: Diferencias entre conceptos de manejo del agua pluvial y de drenaje.

ASPECTO	MANEJO DEL AGUA PLUVIAL	DRENAJE TRADICIONAL
Propósitos	Multipropósito: el drenaje es uno de los propósitos del manejo. Otros posibles propósitos: regulación de caudales, mejoramiento de la calidad del agua pluvial, espacios abiertos para recreación, agua para riego.	El drenaje es el único fin
Área de estudio	La cuenca completa hasta descargar en un curso o cuerpo de agua con suficiente capacidad de asimilación de los caudales y escorrentía.	El área a sanear.
Solución de la escorrentía	Distribuir la escorrentía en el espacio y tiempo, para satisfacer las demandas.	Remover rápidamente los excesos pluviales de las áreas a sanear.
Escenarios hídricos	Se evalúan tanto períodos de excesos como de déficit.	Sólo se evalúan condiciones de exceso.
Medidas contempladas	Estructurales y no estructurales.	Sólo medidas estructurales.
Componentes del sistema de drenaje	Canales/conductos en combinación con dispositivos de detención/retención y técnicas de infiltración.	Canales/conductos.
Consideración de impactos	Mitigación de impactos adversos en la cantidad y calidad del agua en los cuerpos receptores.	En general no se evalúan impactos hacia aguas abajo.

### 1.3. PRINCIPIOS GENERALES DE PLANIFICACIÓN Y DISEÑO

En concordancia con el concepto de manejo del agua pluvial, el planeamiento y diseño de sistemas de drenaje debe estar regido por los siguientes principios generales:

*a) La planificación del drenaje es un subconjunto de la planificación urbana.*

La planificación y diseño de un sistema de drenaje urbano debe ser compatible con la planificación de la región que lo comprende y debe estar coordinada, particularmente, con la planificación del desarrollo urbano y las normativas de uso del suelo (zonificación) y de disposición de residuos.

*b) El manejo del agua pluvial urbana debe ser un esfuerzo multipropósito.*

El manejo del agua pluvial debe procurar satisfacer más de un objetivo simultáneamente. Entre los objetivos pueden mencionarse: drenaje, control de crecidas, mejoramiento de la calidad de agua, recarga subterránea, creación o conservación de espacios abiertos para recreación y control de erosión.

*c) La cantidad y calidad del agua son variables del mismo problema y deben ser consideradas en conjunto.*

En áreas donde la calidad del agua está deteriorada, las consecuencias de las inundaciones son más graves. Por el contrario, el agua pluvial de buena calidad constituye un recurso potencialmente utilizable para distintos usos.

*d) El diseño del sistema de drenaje debe contemplar y aprovechar las características y funciones del sistema de drenaje natural.*

Las geoformas naturales (preexistentes a la urbanización) pueden contribuir al manejo del agua pluvial. Es conveniente preservar y aprovechar las funciones hidrológicas del sistema natural, en vez de anularlas o ignorarlas.

Las depresiones y humedales permiten amortiguar la onda de crecida, disminuir el caudal pico, controlar las velocidades del flujo, aumentar los tiempos de respuesta y retener sedimentos y otros contaminantes. La preservación de estas áreas en su estado natural y el aprovechamiento de su función hidráulica son una solución efectiva y económica para los problemas de inundación, además de ofrecer otras ventajas como espacios para recreación. No deben ocuparse estos espacios para fines (ej. construcción de viviendas) que disminuyan o anulen su función atenuadora. Si esto ocurre, en general se deberán adoptar medidas compensatorias más onerosas.

Por otra parte, los suelos permeables, la vegetación y las planicies de crecidas de las vías de drenaje natural favorecen la infiltración natural.

*e) El drenaje es un fenómeno regional que no respeta límites entre jurisdicciones políticas o entre propiedades públicas y privadas.*

Esto hace necesario formular programas que incluyan aspectos públicos y privados. La coordinación general y el Plan Director deben ser elaborados por la repartición técnica municipal, pero para alcanzar resultados óptimos, la planificación del drenaje debe ser integrada a nivel regional (ej. con la participación de la repartición hidráulica provincial).

*f) En áreas a urbanizar se debe procurar que el caudal pico del pos-desarrollo sea similar al caudal pico de la cuenca en condiciones de pre-desarrollo y que las cargas de contaminantes sean reducidas.*

Para cumplir este propósito, en general se deben implementar:

- Reglamentos de zonificación y usos del suelo, que establecen el Factor de Ocupación del Suelo (FOS) para cada zona, con el objeto de mantener una extensión aceptable de suelo permeable.

- Dispositivos de detención y/o retención, para regular los caudales de crecida y mejorar la calidad del agua.
- Técnicas que conserven la vegetación y porosidad del suelo, para favorecer la infiltración: ej. preservación y mejoramiento de las vías de drenaje naturales, trincheras de infiltración y pavimentos porosos. Debe notarse, sin embargo, que es difícil restringir los volúmenes de escurrimiento del pos-desarrollo.

En cuencas que tienen salida hacia un curso o río, se requiere el control de los caudales pico para mantenerlos similares a los del pre-desarrollo. En cambio, en el caso de cuencas cerradas que drenan hacia una laguna o lago de limitada capacidad de almacenamiento, se requiere un control no sólo de los caudales pico sino también de los volúmenes, tal que el aumento de nivel del lago receptor debido al aumento de la escorrentía originado por la urbanización, no supere una cota admisible. Para estas cuencas se debe considerar un balance hídrico total.

*g) Los sistemas de drenaje no deben trasladar efectos perjudiciales hacia aguas abajo.*

El volumen de agua presente en un sector de una cuenca urbana no puede ser comprimido. Toda vez que se elimina un almacenamiento natural (ej. por medio de una canalización o rellenamiento de zonas bajas) sin que se adopten medidas compensatorias, el volumen eliminado aguas arriba aparece aguas abajo, agravando los efectos de las inundaciones.

La solución del drenaje consiste en encontrar una adecuada distribución espacio-temporal de la escorrentía. La incorporación de dispositivos de detención/retención permite reducir los impactos y las dimensiones de las obras de drenaje hacia aguas abajo.

*h) Los sistemas de drenaje deben diseñarse y ejecutarse comenzando por la salida o punto de descarga.*

La capacidad de conducción del curso receptor debe ser suficiente para recibir el caudal de diseño a la salida de la cuenca en estudio, sin generar efectos adversos como remansos o inundaciones. Si existe una restricción en cuanto a la capacidad de conducción del curso receptor, ésta debe ser el punto de partida para el diseño del sistema de drenaje.

*i) El sistema de drenaje debe recibir un mantenimiento regular.*

La falta de un adecuado mantenimiento reduce la capacidad hidráulica del sistema. La clave de un efectivo mantenimiento es la asignación de responsabilidades, recursos y un control sistemático de estos trabajos. El mantenimiento ocurrido en el pasado debe ser la base para la adopción de ciertos criterios de diseño específicos (revancha de canales, sección libre de bocas de tormenta, etc.).



#### 1.4. EL RIESGO HÍDRICO Y SU MITIGACIÓN

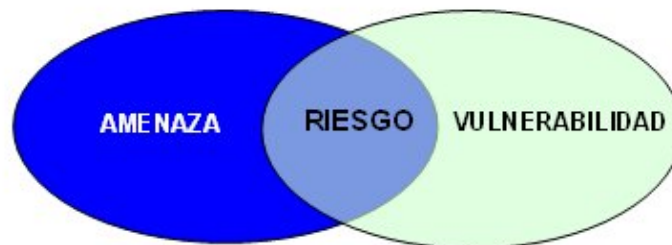
El *riesgo de desastre* es la magnitud probable del daño de un sistema, en un período determinado, ante la presencia de una actividad específica con potencial peligroso. Depende de 2 factores:

- Amenaza: poder o energía que puede desencadenarse (ej. crecida de un curso de agua o una lluvia intensa).
- Vulnerabilidad: predisposición del medio para sufrir daño.

El riesgo de desastre se genera cuando se combinan una amenaza y una vulnerabilidad:

$$\text{Riesgo de desastre} = f(\text{Amenaza, Vulnerabilidad})$$

Figura N° 1.9: Componentes del riesgo de desastre.



La vulnerabilidad depende de:

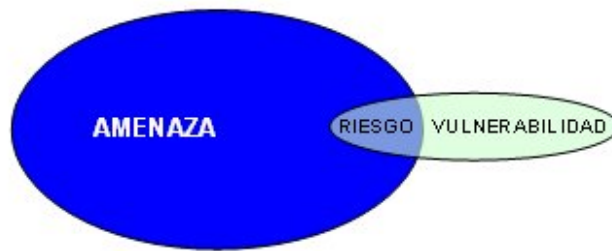
- Grado de exposición: tiempo y modo en que el sistema se somete a los efectos de la amenaza.
- Grado de protección: defensas y/o adaptación para reducir o eliminar la afectación.
- Capacidad de reacción inmediata: capacidad de reaccionar, protegerse y evitar daños cuando se desencadena su potencial.
- Capacidad de recuperación básica: restablecimiento de condiciones elementales de supervivencia.
- Capacidad de reconstrucción: restablecimiento de las condiciones normales de vida.

La *gestión o manejo del riesgo* es el conjunto de acciones destinadas al control de las amenazas y, fundamentalmente, a la reducción de la vulnerabilidad (Figura N° 1.10). Estas acciones se desarrollan antes, durante y después del desastre:

Pre-desastre	Evento / Desastre	Pos-desastre
Prevención para la reducción del riesgo potencial (amenazas y vulnerabilidad)	Respuesta. Atención de la emergencia para minimizar daños y pérdidas	Reconstrucción, sin reconstruir vulnerabilidades anteriores a la ocurrencia del desastre



Figura N° 1.10: Gestión del riesgo.



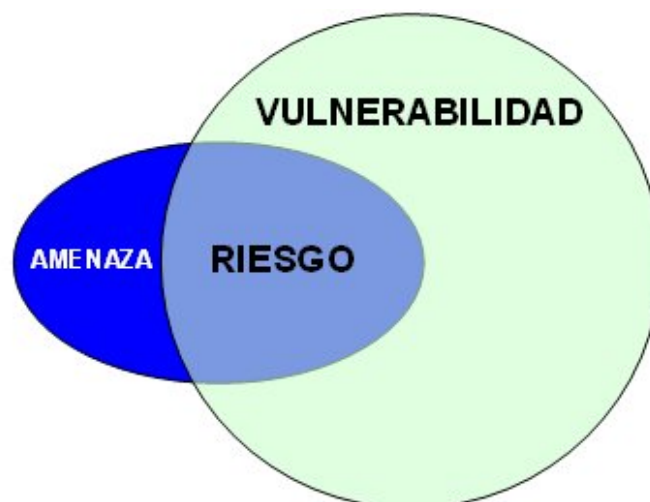
El riesgo hídrico es un caso particular de riesgo de desastre.

La problemática del drenaje urbano en muchas ciudades ribereñas del litoral argentino se caracteriza por:

- Un atraso de inversiones en obras de drenaje, principalmente de conductos principales.
- Un grado de amenaza alto por anegamientos de origen pluvial y/o fluvial.
- Una progresiva ocupación de sectores bajos inundables, con viviendas precarias de uso permanente no adaptadas a contingencias de inundación.
- Un atraso en la implementación efectiva de medidas de regulación del uso del suelo en áreas inundables.

En el último siglo, en ciudades ribereñas de la región litoral argentina se produjo una progresiva ocupación de los valles aluviales de los ríos, con viviendas de uso permanente, comercios, industrias, escuelas, complejos habitacionales y otras construcciones. El avance sobre los valles aluviales fue alentado por la construcción de terraplenes viales, ferroviarios y de defensa, debido a que estas obras transmiten una falsa sensación de seguridad y no se han implementado medidas de regulación del uso del suelo. Esto aumentó el riesgo de sufrir daños por inundación (Figura N° 1.11).

Figura N° 1.11: Aumento del riesgo por aumento de la vulnerabilidad.



Si bien la amenaza se ha mantenido desde los orígenes de estas ciudades, lo que aumentó significativamente en el último siglo es la vulnerabilidad a la inundación.

Las medidas necesarias para mitigar el riesgo hídrico son una combinación de medidas estructurales y no estructurales.

a) *Medidas Estructurales*: consisten en la construcción de obras hidráulicas y civiles destinadas al control del agua (obras de captación, conducción, regulación y de defensa contra inundaciones).

b) *No estructurales*: son las acciones preventivas disponibles para reducir los efectos negativos del escurrimiento.

*Estas medidas son fuertemente recomendadas* por su bajo costo y largo alcance, ya que permiten:

- controlar la impermeabilidad y el aumento de los caudales con la urbanización.
- mitigar los efectos negativos de eventos hidrometeorológicos que superan los parámetros de diseño de las obras, como por ejemplo: regulación del uso del suelo en áreas inundables, relocalización o adaptación de viviendas, sistemas de alerta de crecidas, planes de acción ante emergencias hídricas y programas de educación y concientización de la comunidad.

Los daños por inundaciones pueden ser mitigados por medio del control de la cantidad y tipo de crecimiento económico y social de las zonas con riesgo hídrico.

La expropiación de viviendas en las zonas de alto riesgo puede ser un medio efectivo para evitar daños inaceptables a personas y propiedades. En adición, pueden apropiarse otros beneficios, tales como preservar la capacidad de conducción y/o almacenamiento de las zonas bajas y asignar usos recreativos a los espacios abiertos.

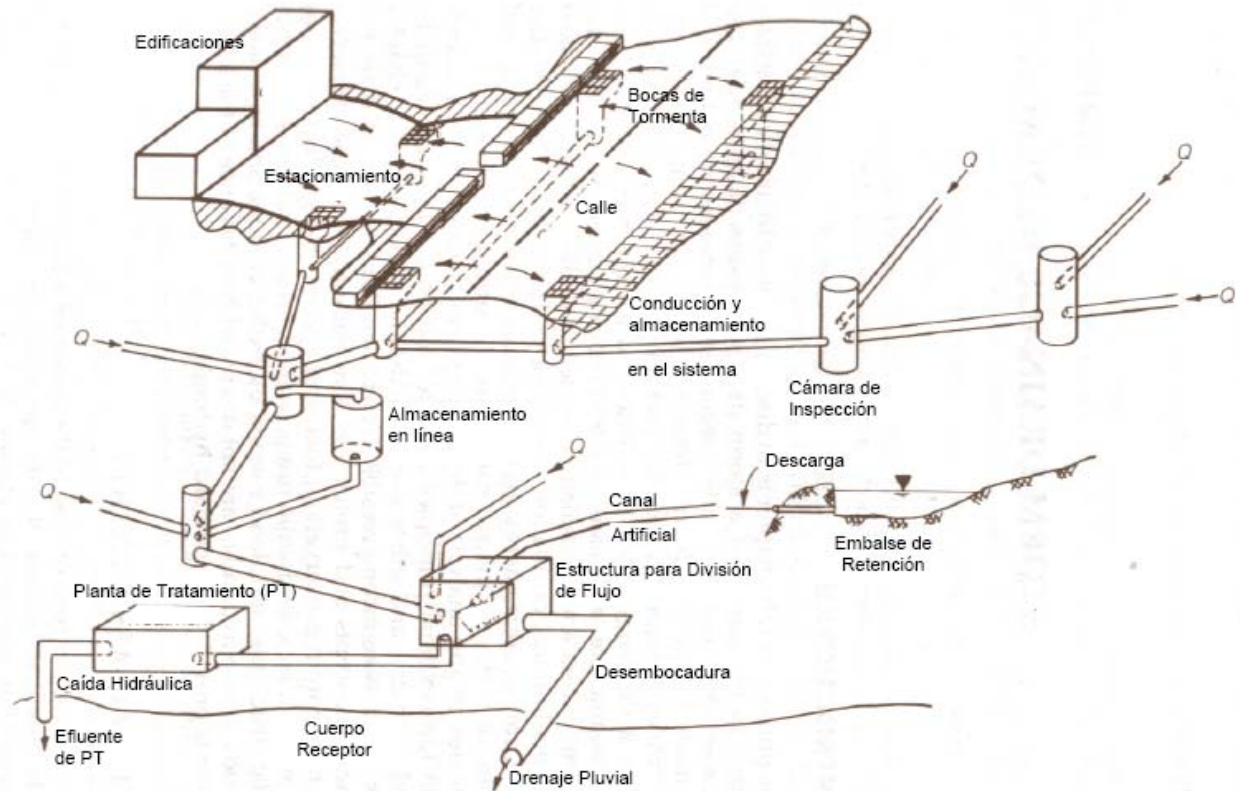
En otros casos, puede ser más económico adaptar (sobreelevar) un conjunto de viviendas de una zona baja, que resolver el problema de drenaje de esa zona. Aunque este tipo de medida requiere de un largo período para demostrar su efecto, los beneficios a la comunidad pueden ser significativos. Estos incluyen la reducción en la exposición al riesgo, la reducción de gastos para auxilio social y la reducción de obras protectoras.

## **1.5. COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL SISTEMA DE DRENAJE**

Un sistema de drenaje urbano es un conjunto de dispositivos físicos que colectan, almacenan, conducen y tratan el escurrimiento pluvial en áreas urbanas.

La Figura N° 1.12 muestra los principales componentes de un sistema de drenaje urbano.

Figura Nº 1.12: Principales componentes de un sistema de drenaje (fuente: Riccardi, 2004).



Un sistema de drenaje se inicia en los edificios, con los desagües pluviales de los techos y cubiertas de patios, continúa en los cordones cuneta y cunetas de las calles, que a su vez reciben el flujo aportado por la misma calzada y por áreas adyacentes. El flujo conducido por los cordones cuneta es captado por las bocas de tormenta y derivado al sistema de conductos subterráneos. Estos conductos van componiendo una red dendrítica, que converge en la dirección de aguas abajo.

En general, los conductos aumentan de sección hacia aguas abajo, a medida que reciben más aportes.

El sistema es alimentado por la lluvia, el agua proveniente de diferentes fuentes y el agua ingresada a la cuenca en estudio por conductos y canales.

El sistema usa la energía potencial disponible, originada por la diferencia entre las elevaciones en la cabecera y la salida de la cuenca y, eventualmente, energía adicionada por bombeo. La energía total disponible normalmente es usada para mantener velocidades de flujo apropiadas, incluyendo velocidades suficientes para asegurar una autolimpieza, con mínima pérdida de carga.

El cuerpo de agua receptor puede ser un curso, un lago o un océano.

Los principales componentes estructurales del sistema son los siguientes:

**Calle:** la calle sirve al drenaje de parte del agua pluvial, aunque su función primordial es la de permitir el tránsito de vehículos y personas. Tales finalidades deben ser compatibles entre sí, por lo que los criterios de diseño para la conducción del escurrimiento sobre las vías públicas deben estar basados en una frecuencia razonable de interferencia del tránsito, dependiendo de las características y jerarquía de la calle.

**Cordón cuneta:** es la sección del pavimento próxima al cordón, generalmente de forma triangular, que conduce los excesos pluviales de baja recurrencia.

**Cuneta:** es una zanja que almacena y/o conduce el agua pluvial, ubicada generalmente a ambos lados de una calle, camino o ruta que carece de cordón cuneta.

**Badén:** es una conducción abierta ubicada en intersecciones de calles, formada por la misma pavimentación, cuyo objetivo es conducir el flujo proveniente de un cordón cuneta en dirección transversal a una calle.

**Boca de tormenta:** es un dispositivo que tiene por objeto captar toda o parte del agua pluvial que escurre sobre la calzada y derivarla a un conducto subterráneo.

**Cámara de entrada:** es un depósito adyacente a la boca de tormenta, que permite la retención de material sedimentable y la derivación del agua captada por la boca a un conducto subterráneo, por medio de un tubo de unión.

**Tubo de unión:** es un conducto menor, destinado a conducir el agua pluvial captada por una boca de tormenta, desde una cámara de entrada hasta una cámara de inspección o de unión.

**Conducto:** conducción cerrada (en general subterránea) destinada a conducir el agua pluvial proveniente de bocas de tormenta y conexiones privadas hasta una vía de drenaje principal o un cuerpo de agua receptor.

**Cámara de inspección, de acceso o pozo de registro:** es una cámara ubicada en puntos convenientes de un tramo de conducto, que tiene por objeto recibir tubos de unión, permitir un cambio de dirección, de pendiente y/o de diámetro del conducto, así como el ingreso de personas para inspección y limpieza. Si el desnivel entre los conductos de entrada y salida es mayor a 0.70 m, es utilizado como cámara de caída.

**Cámara de unión:** es una cámara utilizada cuando se hace necesario unir bocas de tormenta intermedias (ej. a mitad de cuadra) o para evitar la llegada de más de cuatro tubos de unión a una cámara de inspección.

**Dispositivos de detención y retención:** Los dispositivos de detención permiten el almacenamiento temporario de agua, la cual es liberada en forma controlada a través de un orificio, alcantarilla y vertedero. Tienen por objeto atenuar el hidrograma de entrada, disminuyendo y atrasando el pico. Si un dispositivo libera el agua almacenada en un período mayor que 12 a 36 h puede servir, además, para mejorar la calidad de agua pluvial. Los dispositivos de retención originan un almacenamiento de agua sin salida o con una salida controlada, tal que todo o una porción del hidrograma de entrada es almacenado por un período prolongado.

**Vías de drenaje principal:** son los canales y cursos naturales fácilmente identificables, que reciben agua pluvial del sistema de conductos o cunetas y la descargan en un cuerpo receptor.

*Estructuras especiales:* reservorios y estaciones de bombeo, obras de protección de lecho y taludes de canales (rip-rap, gaviones y otros), presas de control, dissipadores de energía, estructuras de caída, sifones, vertederos, orificios y otros.

*Los componentes de un sistema de drenaje pueden clasificarse en dos grandes grupos, los sistemas menor y mayor.*

El *sistema menor* es la parte del sistema de drenaje que colecta, almacena y conduce la escorrentía generada por lluvias frecuentes y provee ayuda para evitar incomodidad e inconvenientes a la población. Incluye los desagües de techos y superficies cubiertas, cunetas, cordones cuneta, bocas de tormenta, conductos subterráneos menores y alcantarillas de cruce de calles.

El *sistema mayor* es la parte del sistema de drenaje que colecta, almacena y conduce la escorrentía que excede la capacidad del sistema menor. Está compuesto principalmente por las calles (sección completa), conductos de grandes dimensiones (“cursos entubados”), canales y cursos naturales. Es usualmente menos controlado que el sistema menor y funciona haya sido o no deliberadamente diseñado, incluyendo el caso cuando el sistema menor es excedido por estar parcial o totalmente bloqueado o inoperable.

Frecuentemente, las bocas de tormenta y los conductos subterráneos (una parte del sistema menor) son la única parte planificada de las obras de drenaje. Sin embargo, ambos sistemas, menor y mayor, deben ser cuidadosamente considerados.

Para los eventos menores y más frecuentes, cuanto más escorrentía pueda ser conducida sobre la superficie, menor será el costo del sistema de conductos subterráneos.

Cuando la capacidad del sistema menor es excedida, las calles comienzan a conducir el agua pluvial con su sección completa. *Esta condición no constituye una falla del sistema de drenaje.* Este concepto tiene implicancias en el diseño y el análisis de costos, ya que la mayor parte del costo de construcción de un sistema de drenaje urbano corresponde a los conductos subterráneos.

Para las tormentas menos frecuentes y mayores, el proyectista debe determinar, al menos en un sentido general, las líneas de flujo (dinámica hídrica) y calcular tirantes y velocidades del flujo en el sistema mayor.

Este análisis detallado del sistema mayor no es necesario hacerlo en todos los casos. Por ejemplo, en los casos de pequeñas modificaciones a sistemas existentes cuyo funcionamiento se conoce suficientemente, no es necesario este tipo de análisis. Principalmente, esto está dirigido a los nuevos desarrollos o a modificaciones significativas de sistemas existentes.

El objetivo es mantener el agua fuera de los edificios y asegurar que la profundidad y velocidad del flujo en las calzadas se mantengan dentro de límites admisibles y no constituyan un riesgo a la seguridad o perjuicio significativo al público.

## **1.6. PLAN DIRECTOR DE DRENAJE URBANO**

Es un plan de acción o estrategia general para el manejo del agua pluvial urbana.

En general, incluye temas tales como: diagnóstico hidrológico, ambiental y socioeconómico de la cuenca, caracterización del desarrollo urbano actual y plan de crecimiento, caudales pico y volúmenes de escurrimiento para distintas recurrencias, ubicaciones y dimensiones de conductos y de dispositivos de detención y retención, normativas de control de caudales pico para nuevas urbanizaciones y regulación del uso del suelo en áreas con riesgo hídrico.

La elaboración de un Plan Director de drenaje urbano es una medida altamente recomendable y constituye una estrategia esencial para la obtención de soluciones eficientes y sustentables. Un plan bien desarrollado posibilita:

- a) Conocer las características y funcionamiento de todas las cuencas de la localidad desde un punto de vista integral, lo que permite llegar a soluciones definitivas y de largo alcance, evitando medidas puntuales y coyunturales que en general agravan los problemas.
- b) Establecer normas y criterios de proyecto uniformes para la localidad.
- c) Dar respaldo técnico a eventuales solicitudes de recursos.
- d) Establecer una secuencia temporal general de medidas a implementar de acuerdo a la disponibilidad presupuestaria.
- e) Identificar zonas de riesgo hídrico que puedan ser preservadas o adquiridas por la autoridad local para afectarlas al Plan.
- f) Armonizar el desarrollo urbano articulando el drenaje urbano con los planes de infraestructura vial, de servicios y aspectos ambientales.
- g) Esclarecer a la comunidad respecto de la naturaleza y magnitud de los problemas y formas de solución propuestas.

En su forma más simple, un Plan Director (también llamado Plan Maestro) puede sólo identificar los elementos esenciales, lineamientos y funciones de un sistema de drenaje. Aún en este nivel conceptual, el Plan Director debe estar basado en estimaciones de caudales pico y volúmenes máximos para algunas recurrencias seleccionadas.

El nivel siguiente de un Plan Director puede incluir además las líneas de gradiente hidráulico (LGH) a lo largo de los conductos principales para el evento de diseño, así como el diseño, cómputo y presupuesto preliminar de las obras. Las pérdidas de carga en el recorrido del flujo, en obras de arte y en obstrucciones, deben estar contempladas en el cálculo de la LGH. Este nivel del Plan Director debe incluir un orden de prioridad o secuencia de obras por etapas.

Cada obra se desarrollará a nivel de proyecto ejecutivo en el momento de su construcción, cuando se disponga de los recursos económicos para ejecutarla. En el caso de ciudades medianas y grandes, no es conveniente que en el Plan Director se desarrolle el proyecto de la totalidad de las obras a un nivel ejecutivo, salvo que se cuente con los recursos económicos necesarios para ejecutarlas a corto plazo. Dado que los ambientes urbanos son sumamente dinámicos, los proyectos suelen perder vigencia y requerir actualizaciones al cabo de pocos años.