

# Inundaciones urbanas

Por Carlos E. M. TUCCI\*

## Causas e impactos principales

Los desastres por inundaciones en zonas urbanas pueden surgir de la ocupación de las planicies de inundación o ser generados por cambios en el uso de la tierra, tales como la urbanización y la deforestación. Los principales impactos de las inundaciones sobre la población se producen cuando no hay suficiente conocimiento acerca de la frecuencia de los niveles hídricos asociados a las inundaciones y a la planificación de ocupación del espacio según los riesgos de aparición de inundaciones, sobre todo para los nuevos inmigrantes de la ciudad.

Un escenario común en la urbanización descontrolada es que la ocupación de planicies de inundación se produce durante una sucesión de años con niveles de crecida bajos que quedan confinadas dentro de las márgenes normales de ríos y corrientes. Cuando se producen episodios de crecidas más altas, el daño se incrementa y las autoridades tienen que invertir en auxilio a las víctimas de la inundación, a lo que sigue la demanda pública de protección frente a las inundaciones. La zona metropolitana de Curitiba (estado de Paraná, Brasil) tiene 2,5 millones de habitantes. La mayor parte de esta zona urbana está en la cuenca fluvial del alto Iguazú, que tiene una superficie de 1 000 km<sup>2</sup>. La mayor concentración urbana está en la cuenca de Belén y en las cuencas vecinas de Atuba y Palmital. El río tiene una gran planicie de inundación natural debido a las pequeñas capacidad hidráulica y pendiente inferior del río. Como resultado de ello, durante las crecidas, el hidrograma se ve atenuado por la capacidad de almacenamiento de las planicies de inundación. La administración regional legisló contra la ocupación de la planicie de inundación pero, en 1980, se ejerció una gran presión para ocupar una vez más dicha zona. La población invadió las zonas verdes, construyendo urbanizaciones y viviendas no autorizadas.

También se produjo ocupación de la planicie de inundación aguas abajo del río Iguazú, en União da Vitória (véase la Figura 1). Durante un largo período de

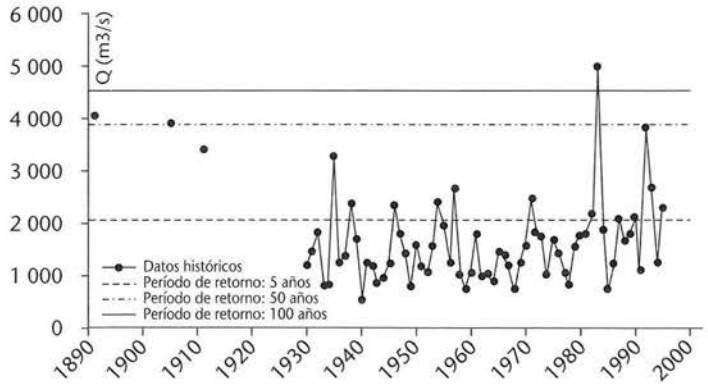


Figura 1 — Descargas máximas de crecida en el río Iguazú en União da Vitória (una cuenca de aproximadamente unos 25 000 km<sup>2</sup>) (Tucci y Villanueva, 1997)

tiempo, las crecidas permanecieron por debajo del período de retorno de cinco años. Las crecidas después de 1982 ocasionaron importantes daños en la comunidad (Tabla 1).

39

Las inundaciones se ven acentuadas por la urbanización debido al mayor número de zonas impermeables, a las obstrucciones al flujo, tales como puentes y vertederos de basura, y a las obras de drenaje hechas por el hombre, como conductos y zanjas. Estos no son obstáculos naturales sino creados para acomodar el crecimiento de población y los imperativos de urbanización relacionados. Generalmente, la superficie terrestre en cuencas urbanas pequeñas está compuesta de tejados, calles y otras superficies impermeables. La escorrentía discurre a través de estas superficies hasta las alcantarillas a una gran velocidad y aumenta el caudal máximo, el volumen de flujo de superficie y hace disminuir la recarga de los acuíferos y la evapotranspiración. Bajo estas condiciones, aumentan la escorrentía total y la descarga máxima, junto con la frecuencia de la crecida (Figura 2). En el presente caso las

Tabla 1  
Pérdidas por inundaciones en União da Vitória y Porto União (JICA, 1995)

| Año  | Pérdidas<br>(en millones de \$ EE.UU.) |
|------|--|
| 1982 | 10,365                                 |
| 1983 | 78,121                                 |
| 1992 | 54,582                                 |
| 1993 | 25,933                                 |

\* Instituto de Investigación Hidráulica, Universidad Federal de Rio Grande do Sul

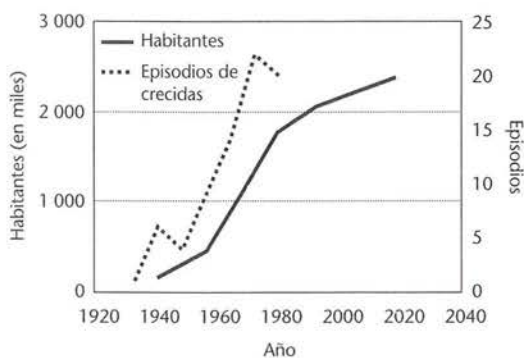


Figura 2 — Aumento de los episodios de crecidas en Belo Horizonte, Brasil (Ramos, 1998)

magnitudes de la crecida se multiplican hasta por seis veces debido a la urbanización. Además de estos efectos, las superficies por las que discurre el agua durante los días lluviosos aumentan la carga de contaminación en el medio ambiente urbano y aguas abajo de los ríos.

Generalmente, las inundaciones urbanas se producen por una mala concepción en el diseño del alcantarillado urbano, que se basa en el principio de drenar agua de las superficies urbanas tan rápido como sea posible a través de las redes de cañerías y zanjas que aumentan el caudal máximo aguas abajo. No hay control del aumento de las descargas máximas en el ámbito del avenamiento menor y la mayor parte de los efectos se manifiestan aguas abajo, en el avenamiento principal. Para hacer frente a este problema, las administraciones municipales y estatales llevan a cabo trabajos como canales en el drenaje principal y tuberías en el secundario. Este tipo de solución ayuda sólo en la transferencia del problema de la crecida de una sección de la cuenca a otra, a mayor coste. Además, el efecto sobre la calidad del agua es mayor, ya que el exceso de flujo tiene una mayor cantidad de sólidos, incluidos metales y otros componentes tóxicos.

Desde la década de los años setenta se ha desarrollado, en los países avanzados, el control de la fuente del drenaje urbano, por medio de estanques de contención y retención, superficies permeables, zanjas de infiltración y otras medidas de control de la fuente. En los países en vías de desarrollo este tipo de control apenas existe y los efectos se transfieren aguas abajo en el sistema de drenaje principal. El coste de controlar este impacto se transfiere desde el individuo a lo público, ya que el país tiene que invertir más en estructuras hidráulicas para reducir los efectos de la crecida aguas abajo.

La experiencia de muchos países ha conducido en la actualidad a ciertos principios aceptados en la gestión del drenaje urbano. Estos son los siguientes:

- Se debería llevar a cabo una evaluación del drenaje para el conjunto de la cuenca y no confinado a secciones de flujo específicas.

- Las medidas de control del flujo y de gestión del drenaje no deberían transferir el efecto de la crecida a los tramos aguas abajo, y se debería dar prioridad a las medidas de control de la fuente.
- La gestión de control debería empezar con la puesta en marcha en los municipios del Plan Maestro de Drenaje Urbano.
- La planificación del alcantarillado urbano debería tener en cuenta los escenarios futuros de urbanización de la ciudad.
- Deberían reducirse los efectos originados por el lavado de la superficie urbana y otros relacionados con la calidad del agua del drenaje urbano.
- Debería darse la importancia adecuada a las medidas no estructurales, tales como zonificación de las planicies de inundación, seguros y predicción en tiempo real de las crecidas.
- Se debería incrementar la participación pública en la gestión del alcantarillado urbano.
- El desarrollo del alcantarillado urbano debería basarse en la recuperación del coste.

Estos principios se han aplicado en cierto modo en países desarrollados. Sin embargo, las prácticas de drenaje urbano en la mayor parte de los países en vías de desarrollo no satisfacen estos principios. Las causas principales son las siguientes:

- El desarrollo urbano en los países en vías de desarrollo se produce de forma demasiado rápida y es impredecible. Generalmente, la tendencia de este urbanismo es desde las partes bajas de la corriente a las altas, lo que aumenta los efectos del daño (Dunne, 1986).
- Las zonas periurbanas y de riesgo (planicies de inundación y pendientes de laderas) están ocupadas por poblaciones con ingresos bajos y sin infraestructura. El desarrollo espontáneo de casas en zonas con riesgo de inundaciones puede apreciarse en Bangkok, Bombay, Guayaquil, Lagos, Monrovia, Port Moresby y Recife. Algunas de las urbanizaciones propensas a sufrir corrimientos de tierra son Caracas, Ciudad de Guatemala, La Paz, Río de Janeiro y Salvador (OMS, 1988).
- Los Ayuntamientos y la población no suelen tener fondos suficientes para satisfacer las necesidades básicas de suministro de agua, instalaciones sanitarias y alcantarillado.
- La falta de una recogida y eliminación adecuadas de residuos sólidos reduce la calidad del agua y la capacidad de la red de alcantarillado urbano (atascos).
- La falta de organización institucional en el alcantarillado urbano en el ámbito municipal, como normativas, creación de capacidades y administración.

## CUADRO 1

### PRESIÓN DE OCUPACIÓN URBANA EN ZONAS REGULADAS

---

Las regulaciones en la ciudad de Curitiba (Brasil) han restringido la ocupación de la tierra con el fin de preservar las cuencas utilizadas para el abastecimiento de agua urbana y en zonas propensas a sufrir crecidas. El desarrollo urbano ha invadido, en cierta medida, estas zonas y ha incrementado su valor inmobiliario. Los dueños de la propiedad adoptaron la siguiente estrategia: (a) desarrollo clandestino; y (b) ayuda a la "invasión" de sus tierras por poblaciones pobres para romper las normas y vender de esta forma la tierra al ayuntamiento como una solución social (esto ocurre normalmente durante los años electorales, cuando es mayor la presión política).

Esta situación se produce principalmente debido a la baja compensación para los propietarios privados de la tierra en las normas, ya que tienen que mantener el espacio sin utilizar y a la vez pagar impuestos por el suelo sin obtener ningún beneficio económico. Impuestos más bajos y un uso adecuado del suelo que no degrade la calidad del agua habrían aportado más incentivos a la conservación del uso de aquél.

- La falta de aplicación de la ley o una regulación poco realista (véase el cuadro 1).

En la mayor parte de las ciudades asiáticas falta una organización integral de proyecto y una asignación clara de responsabilidades; una planificación y aplicación adecuadas del uso del suelo urbano; y la capacidad para abarcar todas las fases y todos los aspectos de la planificación técnica y no estructural (Ruiter, 1990).

### Gestión integrada del drenaje urbano

La planificación de la gestión integrada del drenaje urbano se basa en los fines y los objetivos relacionados con el bienestar de la población y la conservación del medio ambiente. Se desarrolla un Plan Maestro de Control de las Crecidas y el Drenaje Urbano (UDMP) sobre la base del espacio urbano, las condiciones hidrológicas, la red hidráulica y las condiciones medioambientales para reducir los riesgos de crecida. Los fines principales suelen ser:

- La regulación del uso de las zonas de planicies de inundación mediante legislación y otras medidas no estructurales.
- Las medidas de prevención y de mitigación de las consecuencias en crecidas de baja frecuencia.
- La mejora de la calidad del agua del drenaje urbano.

Aquí no se tratan los factores condicionantes del desarrollo urbano, ya que pertenecen al Plan Maestro Urbano (UMP) pero debería haber una gran interacción entre este plan, el UDMP, el plan de control de crecidas y otros planes de la ciudad tales como el de abastecimiento de agua y el de gestión de los residuos sólidos y sanitarios. El uso del suelo está fuertemente relacionado con el drenaje urbano y el UMP también debe tener en cuenta las restricciones del UDMP, del que el anterior forma parte.

El Plan de Gestión Integrada del Drenaje Urbano incluye:

*Medidas no estructurales* incluidas en la legislación del país o en la normativa de construcción urbana.

*Medidas estructurales* para cada subcuenca de la ciudad en la que se planifiquen trabajos, incluidas evaluaciones medioambientales y económicas.

*Programas de creación de capacidades*, que ofrezcan apoyo a largo plazo al Plan.

### Medidas no estructurales

Las medidas no estructurales se desarrollan para regular el uso del suelo en las planicies de inundación y para controlar el impacto de la urbanización sobre el drenaje. La regulación de las planicies de inundación suele restringir el uso de las zonas propensas a sufrir crecidas para nuevas urbanizaciones y planifica nuevas zonas de ocupación en la ciudad mediante el uso de incentivos fiscales (véase el Cuadro 2).

## CUADRO 2

### INCENTIVOS FISCALES

---

En Estrela (Rezende y Tucci, 1979), se preparó un estudio para la ciudad, junto con el Plan Maestro Urbano, que fue incluido en la normativa municipal. Después de aplicar la legislación, las zonas en peligro fueron preservadas y la población restante fue trasladada de forma gradual a zonas seguras utilizando incentivos fiscales. Estos consistían en el intercambio de permisos de zona de construcción de edificios en el centro con zonas de riesgo de inundaciones. Las pérdidas por inundaciones y la población afectada han disminuido con el paso de los años desde 1979.

### CUADRO 3 PARTICIPACIÓN PÚBLICA

União Vitória y Porto União (Tucci y Villanueva, 1997) están en el límite del Estado de Paraná y Santa Catarina y tienen una población de unos 150 000 habitantes. Esta zona urbana está sujeta a frecuentes inundaciones, pero en 1980 se construyó un gran pantano para producir energía hidroeléctrica aguas abajo. En 1983 hubo una importante crecida, que tuvo un efecto económico importante (60 días de inundación). La población empezó a culpar a la Compañía Eléctrica (COPEL), que alegó que era una crecida natural y que el pantano no causó ningún efecto adicional. Pero en 1992 tuvo lugar otra importante crecida, menor que la de 1983 pero también con grandes daños y creó un importante conflicto entre la ciudad y COPEL. La población creó una organización no gubernamental y se llevó a cabo un estudio para dicha organización con el fin de realizar un diagnóstico de las condiciones de las inundaciones, negociaciones con COPEL sobre las normas operativas y una planificación de la zona inundable de la ciudad. El estudio produjo algunos resultados y las negociaciones mejoraron la capacidad de la ciudad para hacer frente a las inundaciones.

42

Las normas relativas al drenaje urbano también pueden servir al objetivo de reducir el efecto aguas abajo de la descarga máxima y la degradación de la calidad del agua, teniendo en cuenta las condiciones socioeconómicas. La mejor normativa es la que incrementa la participación pública (véase el Cuadro 3). Uno de los aspectos básicos de este tipo de regulación es que el nuevo desarrollo urbanístico mantiene la descarga máxima igual o por debajo del escenario existente antes de la urbanización, limitando las superficies impermeables.

#### Medidas estructurales

Desarrollar un plan de control de crecidas del drenaje urbano por subcuencas, evaluándose cada subcuenca por el riesgo y el escenario escogido. Basándose en estas condiciones individuales, se planifican los trabajos necesarios para controlar estos efectos. Generalmente, las medidas son una combinación de embalses aguas arriba, estanques de contención, diques, cambios en el canal fluvial, conductos y zanjas, basados en las condiciones hidrometeorológicas disponibles, la disponibilidad de espacio, el drenaje existente y la topografía. Sin embargo, tienen costes mayores y sólo son viables económicamente cuando el daño que se evita es mayor que los costes de construcción o cuando hay consideraciones sociales especiales. Las medidas no estructurales tienen costes menores pero son políticamente difíciles de llevar a cabo.

#### Creación de capacidades

La creación de capacidades es necesaria en todos los ámbitos. Empezando por el manual de drenaje ur-

bano, para que lo usen los planificadores e ingenieros para asesorar sobre las limitaciones de la ciudad y los procedimientos aceptados por la misma en el diseño del drenaje urbano. Hace falta creación de capacidades en las comunidades para permitir su participación.

#### Plan maestro de drenaje urbano en Porto Alegre, Brasil

Porto Alegre es la capital del Estado de Rio Grande do Sul, en Brasil. El área metropolitana tiene unos tres millones de habitantes y el municipio alrededor de dos millones. La ciudad está situada en la orilla de la cuenca de drenaje de un delta fluvial de unos 80 000 km<sup>2</sup>. Está protegida por un sistema de diques y de estaciones de tormenta y de bombeo diseñado antes de 1970. La ciudad creció desde la parte baja de la corriente hacia la parte alta. La capacidad real de drenaje no es suficiente para descargar el incremento aguas arriba del volumen y máximo valor de crecida en algunas partes de la ciudad.

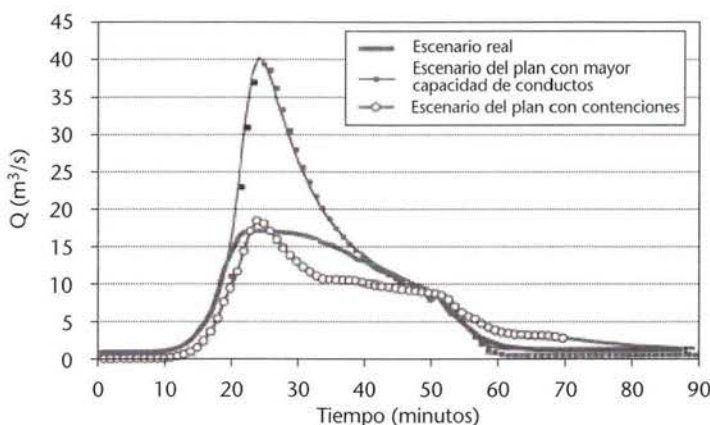


Figura 3 — Hidrogramas para los escenarios (escenarios futuros con 10 años de tormentas) de la cuenca A (IPH, 2001)

El municipio de Porto Alegre abarca una superficie de unos 400 km<sup>2</sup> y tiene 26 cuencas. El Plan Maestro de Drenaje Urbano se formuló en fases. La primera de éstas fue la propuesta de medidas no estructurales tales como legislar para las nuevas urbanizaciones. La segunda parte consistió en un examen de la capacidad de diseño del desagüe de las precipitaciones tormentosas sobre la cuenca y que se bombean hacia afuera desde el interior del sistema de diques, y el Plan de seis importantes subcuencas de la ciudad. Las medidas no estructurales consistían en (a) una nueva legislación sobre el control de fuentes para urbanizaciones, que ha sido puesta en marcha a partir de marzo de 2000; (b) la creación de capacidades en forma de formación sobre drenaje urbano, equivalente a grado de ingeniero; y (c) la preparación de un manual de diseño. El municipio ya tenía un departamento de desarrollo y mantenimiento del drenaje urbano. Las medidas estructurales tuvieron lugar en forma del Plan de Drenaje Urbano de seis cuencas.

Por ejemplo, la cuenca de Areia tiene una superficie de 12 km<sup>2</sup> y una gran densidad de población. Hay una estación de bombeo para drenar la cuenca más baja. El desagüe desde la cuenca aguas arriba discurre dentro de una tubería de presión (que está situada por debajo de los corredores del aeropuerto y que no puede incrementarse sin un importante coste) hasta el Delta del Jacuí. La cuenca está dividida en once subcuencas y los escenarios de estudio se crearon sobre la base de la ocupación real y de la proyectada por el Plan de Desarrollo Urbano.

Aumentar la capacidad de la tubería a lo largo del sistema principal de desagüe incrementaría el flujo máximo hasta 140 m<sup>3</sup>/s y costaría 14 millones de \$ EE.UU. (sin tener en cuenta el impacto aguas abajo). El uso de estanques de contención en el sistema principal de drenaje en algunos espacios públicos abiertos costaría 8 millones de \$ EE.UU. y el máximo caudal sería de 42 m<sup>3</sup>/s. La Figura 3 muestra los hidrogramas para estos escenarios en una de las cuencas.

En el caso de simulaciones para la predicción de las frecuencias de escorrenfía, es de gran importancia tener series de datos de precipitación lo suficientemente largas, al menos tres veces la longitud de los pe-

ríodos de retorno de interés. La red de pluviómetros óptima para tales operaciones tendría una resolución espacial de entre 0,1 y 1,0 km<sup>2</sup> y una resolución temporal del orden de 1 a 5 minutos.

## Conclusión

Las inundaciones urbanas constituyen una de las principales amenazas para las ciudades. La mayor parte de las políticas públicas existentes en los países en vías de desarrollo no son adecuadas ni técnica, ni social ni económicamente. Los planes maestros de drenaje urbano integrado y de planicies de inundación son los instrumentos principales para desarrollar una política sostenible para la gestión de los efectos de las inundaciones en las zonas urbanas.

La gestión de las inundaciones urbanas en los países en vías de desarrollo requiere también de la evaluación de los problemas socioeconómicos relacionados con el uso del suelo y el desarrollo urbano. La mayor parte del control se puede lograr a través de legislación y su aplicación, la participación pública y la creación de capacidades.

## Referencias

- IPH, 2001: "Plano da bacia do Areia". En: Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre, 1.<sup>a</sup> Fase. Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS DEP/Prefeitura Municipal de Porto Alegre.
- JICA, 1995: The master study on utilisation of water resources in Parana State in the Federative Republic of Brazil. Sectoral Report, Vol. H: Flood Control.
- RAMOS, M.M.G., 1998: Drenagem Urbana: Aspectos urbanísticos, legais e metodológicos em Belo Horizonte. Tesis Doctoral de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Federal de Minas Gerais.
- REZENDE, B., C.E.M. TUCCI, 1979: "Análise das Inundações em Estrela". Informe Técnico, Municipio de Estrela. 30 pp.
- RUITER, W., 1990: "Watershed: flood protection and drainage in Asian Cities". *Land & Water Int'l* 68: 17-19.
- TUCCI, C.E.M., R.L. PORTO, 2000: "Storm hydrology and urban drainage". En: *Humid Tropics Urban Drainage*, UNESCO.
- TUCCI, C.E.M., A. VILLANUEVA, 1998: "Controle de Inundações da cidade da União da Vitória". Informe Técnico. CORPRERI. 135 pp.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 1988: *Urbanization and its Implications for Child Health: Potential for Action*. Ginebra.

