



Cuadernos de Vivienda y Urbanismo

ISSN: 2027-2103

ISSN: 2145-0226

Pontificia Universidad Javeriana

Torres, Andrés; Galarza-Molina, Sandra; Molina-Prieto, Luis Fernando

Bogotá, una ciudad sensible al agua: elementos de reflexión\*

Cuadernos de Vivienda y Urbanismo, vol. 12, núm. 23, 2019, Enero-Junio, pp. 179-201

Pontificia Universidad Javeriana

DOI: 10.11144/Javeriana.cvu12-23.bcsa

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=629765253008>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org



Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Bogotá, una ciudad sensible al agua: elementos de reflexión\*

Fecha de recepción: 11 de julio de 2016 | Fecha de aprobación: 27 de julio de 2018 | Fecha de publicación: 22 de abril de 2019

Andrés Torres

Pontificia Universidad Javeriana,  
Colombia

ORCID: 0000-0001-8693-8611

andres.torres@javeriana.edu.co

Sandra Galarza-Molina

Pontificia Universidad Javeriana,  
Colombia

ORCID: 0000-0002- 0002-1915

lauraestefania.quintero@uptc.edu.co

Luis Fernando Molina-Prieto

Fundación Universidad de América,  
Colombia

ORCID: 0000-0002-3039-427X

lauraestefania.quintero@uptc.edu.co

## Resumen

Ante problemas evidentes en la gestión de las aguas lluvias de Bogotá, derivados sobre todo de la obsolescencia de las soluciones de drenaje convencionales, se revisan nuevos paradigmas internacionales como reflexión inicial para construir una visión propia sobre el saneamiento pluvial urbano de la ciudad. Por su carácter incluyente, pluriobjetivo y pluridisciplinario, se sugiere considerar la ciudad sensible al agua como paradigma de largo plazo, con base en las características y dinámicas propias de la ciudad y su vulnerabilidad frente a los eventos generados por el cambio climático y la contaminación de los cuerpos de agua. Con el punto de partida en limitantes propias de la ciudad como el pensamiento rígido, la fragmentación institucional, las políticas inflexibles y la corrupción gubernamental, se proponen elementos de reflexión sobre cuatro dimensiones que deben ser intervenidas para que Bogotá inicie su transición hacia ese modelo: natural, material, humana y normativa.

## Palabras clave

Recurso pluvial; escorrentías urbanas; hidrópolis

\* Artículo de reflexión

Artículo de reflexión producto del proyecto de investigación "Gestión estratégica del recurso pluvial para la producción de edificios y ciudades resilientes y sustentables", iniciado en agosto de 2014 y concluido en julio de 2016.

El proyecto fue financiado por la Fundación Universidad de América, sede Bogotá.

Cómo citar este artículo: Torres, A., Galarza-Molina, S., y Molina-Prieto, L. F. (2019). Bogotá, una ciudad sensible al agua: elementos de reflexión. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 12(23). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu12-23.bcsa>

# Bogotá, a City Sensitive to the Water:

## Elements for Reflection

**Abstract** Due to the evident problems to deal with the rainwaters in Bogotá, and mostly the obsolete condition of the conventional drainage solutions, new international models are being observed as an initial reflection in order to develop the city's own vision concerning the rainwater sanitary treatment. Due to its inclusive nature, with plural objectives and the plural disciplines involved, this work proposes to consider the model 'The City Sensitive to the Water' as a long-term paradigm and bring into contention the characteristics and dynamics proper to the city and the its vulnerability regarding the events caused by both the climate change and the pollution of the bodies of water. Starting from the limiting factors proper to the city like the rigid thought, the institutional fragmentation, the inflexible policies and the governmental corruption, this work proposes elements for reflection in four dimensions requiring an intervention so that Bogotá begins the transition towards the abovementioned model: natural, material, human and regulatory.

**Keywords:** rainwater recourses, urban runoffs, city of water

Keywords

## Bogotá, cidade sensível à água:

elementos de reflexão

Resumo

Perante problemas evidentes na gestão das águas pluviais de Bogotá, decorrentes principalmente da obsolescência das soluções de drenagem convencionais, revisam-se novos modelos internacionais como reflexão inicial para construir uma visão própria sobre saneamento pluvial urbano da cidade. Pelo seu caráter inclusivo, pluriobjetivo e pluridisciplinar, sugere-se considerar a cidade sensível à água como paradigma de longo prazo, baseado nas características e dinâmicas próprias da cidade e sua vulnerabilidade frente aos eventos gerados pela mudança climática e a contaminação dos corpos de água. Com o ponto de partida das limitantes próprias da cidade como o pensamento rígido, a fragmentação institucional, as políticas inflexíveis e a corrupção governamental, propõem-se elementos de reflexão em quatro dimensões que devem ser intervencionadas para que Bogotá inicie sua transição para esse modelo: natural, material, humana e normativa.

### Palavras chave

Recurso pluvial; escoamentos urbanos; hidrópole

Palavras chave

## Introducción

El cambio climático —fenómeno aceptado por la comunidad científica mundial— propicia eventos extremos y devastadores como huracanes, inundaciones o sequías, los cuales ocasionan enormes riesgos para la salud y la vida de los habitantes de las ciudades (Kovats y Akhtar, 2008).

Las inundaciones incontrolables generadas por el cambio climático han azotado recientemente áreas urbanas de Alemania, Austria, Croacia, Hungría, Polonia y Serbia (Thieken et al., 2016), Australia (Wilby y Keenan, 2012), Estados Unidos (Peterson et al., 2013), Argentina, Brasil, Colombia (Aragón-Durand, 2014), México (Santiago, López y López, 2008), Perú (Rubio-Herrera y Guerrero-Padilla, 2016) y Venezuela (Arias, Sáez y Siso, 2017), por solo mencionar algunos casos, así como en la ciudad de Bogotá (Hernández-Gómez y Serrano-Romero, 2015), nuestra área de estudio. Además, los problemas ligados a la concentración de la población mundial en las ciudades<sup>1</sup> y su consecuente expansión (ONU, 2014) empezaron a cobrar importancia en el campo del drenaje urbano (Harremoës, 1997) durante las últimas décadas. Uno de esos problemas abarca los impactos en las cuencas urbanas, evidenciados en el aumento de los caudales, los altos volúmenes de escorrentía y una significativa disminución de las tasas de infiltración y de los caudales base (Chocat, Krebs, Marsalek, Rauch y Schilling, 2001; Fletcher, Andrieu y Hamel, 2013).

Otro aspecto relacionado con las precipitaciones en áreas urbanas es la gran variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos que ha

sido detectada en las aguas lluvias de escorrentía (Hvitved-Jacobsen, Vollertsen y Haaning, 2010), los cuales generan efectos adversos a la salud humana, a los ecosistemas superficiales (McCarthy, Deletic, Mitchell, Fletcher y Diaper, 2008; Walsh y Kunapo, 2009) y a los mantos acuíferos (Gromaire-Mertz, Garnaud, González y Chebbo, 1999). En ese sentido, cabe mencionar que las aguas lluvias de escorrentía sobre superficies urbanas son reconocidas por ser la mayor fuente de distribución de metales pesados en los ambientes acuáticos (Eriksson, Baun, Mikkelsen y Ledin, 2007; Gasperi, Gromaire, Kafi, Moilleron y Chebbo, 2010; Zhang, Cui y Fan, 2012).

El sistema de alcantarillado moderno, es decir, el que se desarrolló durante el siglo XIX y se consolidó como paradigma mundial de la hidrología urbana en el siglo XX, responde a dos necesidades: una, de carácter higienista (la extracción expedita de las aguas servidas del perímetro urbano) y la otra, orientada a reducir los riesgos de inundación (la rápida conducción de las aguas pluviales fuera de las áreas urbanizadas). Este modelo tradicional incluye captar, conducir y descargar, de la manera más rápida, las aguas pluviales y residuales urbanas en algún cuerpo de agua natural (Cherrared, Chocat y Benzerra, 2007). Sin embargo, este enfoque ignora factores clave para la sostenibilidad de las ciudades contemporáneas, como la protección y la conservación de los cuerpos de agua naturales, la armonía con el ciclo hidrológico natural, el aprovechamiento del recurso pluvial, la gestión económica y financiera de acueductos y alcantarillados, el mantenimiento de los sistemas de drenaje y el manejo de

1 La población urbana mundial pasó de 746 millones de habitantes en 1950 a 3900 millones en 2014 (Organización de Naciones Unidas [ONU], 2014).

la información, entre muchos otros. Son debilidades de un viejo sistema que, en lo tocante a las aguas pluviales, se limita a “drenarlas”, es decir, a conducirlas y expulsarlas rápidamente sin considerar su uso o aprovechamiento y que durante las inundaciones incontroladas ha evidenciado la obsolescencia de una infraestructura pluvial basada en el sumidero superficial y el tubo subterráneo que, por su propia concepción y diseño, es muy difícil de ensanchar (Delleur, 2003; Wong, Breen y Lloyd, 2000).

Nelson, Moddemeyer y Schwartz (2007) subrayan que esas infraestructuras que otrora protegieron de enfermedades e inundaciones a las ciudades son obsoletas y son ellas las que aumentan esos riesgos.

Por su parte, Bacchin, Ashley, Sijmons, Zevenbergen y Timmeren (2014) señalan que los sistemas para la conducción de las aguas pluviales se han concebido históricamente de manera aislada, sin considerar la planificación urbana y han sido construidos en su mayoría de manera subterránea; en consecuencia, son comunes los conflictos y las incompatibilidades entre la infraestructura pluvial y su contexto urbano superficial.

Frente al incremento de la expansión urbana en todo el mundo y el impacto de las aguas lluvias sobre los seres humanos y los ecosistemas acuáticos, la gestión de las aguas pluviales ha cambiado su rumbo y sus objetivos en las últimas décadas. Para la comunidad científica, está claro que las prácticas tradicionales de drenaje urbano necesitan ser replanteadas. Hoy en día, dichas prácticas son vistas como contrarias a las expectativas ambientales de la sociedad y como barreras en la búsqueda de ambientes urbanos sostenibles (Fletcher et al., 2014; Wong y Brown, 2009).

A este respecto, un movimiento en la gestión del drenaje urbano se ha puesto en marcha desde la década de 1970 (Barlow, Burrill y Nolfi, 1977;

Chocat et al., 2001) y gracias a él se está pasando del enfoque tradicional, que se limitaba al control de las inundaciones, a uno más holístico, que tiene en cuenta múltiples objetivos en los procesos de diseño y en la toma de decisiones (Fletcher et al., 2014). Un cambio de paradigma en la gestión de las aguas pluviales que está surgiendo en todo el mundo y se caracteriza por la marcada transición de las infraestructuras tradicionales “duras” (sumideros y tubos de drenaje) a infraestructuras verdes (Marsalek y Chocat, 2002).

Estudios recientes en gestión de aguas pluviales han empezado a ver el agua de escorrentía urbana más como una oportunidad y menos como un problema (Mitchell et al., 2006; Ashley et al., 2013). Por consiguiente, el aprovechamiento de las aguas lluvias de escorrentía (stormwater harvesting, SWH) está cobrando cada día más importancia como fuente alternativa de agua para usos no potables en las ciudades (Hatt, Deletic y Fletcher, 2006): irrigación, descarga de sanitarios y limpieza de zonas duras y fachadas (Coombes, Argue y Kuczera, 2000; Shuster et al., 2013).

El presente artículo da una mirada a nuevos paradigmas formulados alrededor del mundo y propone elementos que contribuyan a que Bogotá pase de ser una ciudad vulnerable a las inundaciones, que desaprovecha el recurso pluvial y desperdicia el agua potable, a una “ciudad sensible al agua”.

## Bogotá: ciudad vulnerable al cambio climático

Aunque el cambio climático es un fenómeno global y en muchas ciudades del mundo se han asumido estrategias de adaptación y transformaciones muy significativas en cuanto a la gestión de las aguas pluviales, la ciudad mantiene antiguas políticas y sistemas obsoletos que la hacen vulnerable frente a las inundaciones.

Bogotá tiene una población de más de 8 millones de habitantes; cuenta con un sistema de drenaje combinado en las zonas más antiguas y separado en las más recientes, con una cobertura del servicio de más de 90 % (Peña, Melgarejo y Prats, 2016). El sistema de saneamiento comprende descargas sin tratamiento de aguas servidas y lluvias a cuatro ríos afluentes del río Bogotá: Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo. Las cuencas de esos ríos se dividen en 49 subcuencas sanitarias y 16 subcuencas pluviales (Peña et al., 2016).

El río Bogotá recibe todas las aguas residuales, además de la descarga de desechos industriales y contaminantes de los municipios vecinos (Rojas, 2013). La cuenca del río Salitre tiene una planta de tratamiento de aguas residuales con una capacidad de 4 m<sup>3</sup>/s que funciona con tratamiento primario y trata cerca de un 30 % de las aguas servidas de la ciudad (Peña et al., 2016). Por otro lado, Bogotá cuenta con humedales naturales y lagos que forman parte de su sistema de drenaje (Jiménez et al., 2016); sin embargo, los humedales son unos de los componentes más afectados del sistema, puesto que la urbanización de Bogotá hizo que aproximadamente 49.000 hectáreas de humedales fueran desecadas (Viviescas, 2006). El número y el tamaño limitados de los humedales restantes no parece suficiente para garantizar la conservación de la biodiversidad (Van der Hammen, 2006). En efecto, evaluaciones de cambios hidrológicos en la cuenca del río Bogotá muestran una reducción de las áreas verdes de 31 a 19 % en solo veinte años (Díaz-Granados y Camacho, 2012).

La franja urbana, compuesta de suelos con vulnerabilidad geomorfológica (inundación o deslizamiento de tierra) está habitada sobre todo por asentamientos de bajos ingresos (Rojas, 2013). La expansión urbana y el consiguiente aumento de las superficies impermeables se producen principalmente en la parte plana de la sabana, lo que

explica en parte las dificultades del drenaje en períodos de lluvias intensas (Rojas, 2013).

Los principales problemas asociados con el sistema de alcantarillado actual son los siguientes: i) descargas directas de aguas servidas sin tratamiento a los ríos por la falta de infraestructura adecuada; ii) descargas de aguas servidas por los aliviaderos incluso en períodos de tiempo seco; iii) conexiones erradas que permiten el flujo del sistema de alcantarillado sanitario al pluvial y viceversa, y iv) mala calidad de las aguas en los canales de drenaje de aguas lluvias debido a las conexiones erradas y riesgo sanitario alto por desbordamientos de dichas aguas durante las épocas de lluvias intensas (Giraldo, Leirens, Díaz-Granados y Rodríguez, 2010).

De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), las fuertes precipitaciones de los años 2010 y 2011 no se habían registrado en más de cuatro décadas y las inundaciones que generaron no tienen precedentes (Bueno y Bello, 2014) y según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal, 2012), la mayor afectación urbana por causa de la ola invernal en Colombia en el período 2010-2011 tuvo lugar en Bogotá, con un 95,6 % (figura 1). Tales inundaciones continuarán aconteciendo, debido al actual sistema de gestión de las aguas pluviales de la ciudad: sumideros superficiales y tuberías subterráneas que, como ya se mencionó, para la comunidad científica son un modelo obsoleto y causante del incremento del riesgo de inundación.

El problema de obsolescencia del sistema de drenaje de Bogotá no solo afecta a la ciudad formal —la ciudad planificada—, sino que impacta de manera directa a la ciudad informal, esa enorme mancha urbana que se desarrolla de manera espontánea y en la que habita la mayor parte de la población y que se encuentra en constante condición de vulnerabilidad y riesgo.



Figura 1. Precipitación anual en Bogotá (1999-2017)

Fuente: elaboración propia con base en Observatorio Ambiental de Bogotá (s. f.)

Por las limitaciones del sistema y por efecto de la impermeabilización del suelo urbano, en Bogotá una lluvia fuerte se transforma:

[...] en su mayor parte en escorrentía superficial que se concentra rápidamente originando grandes caudales punta, en comparación con las zonas naturales no urbanizadas en donde apenas se produce escorrentía subsuperficial gracias a procesos tales como la infiltración, el almacenamiento superficial o subterráneo, la evapotranspiración o la evaporación. (Secretaría Distrital de Ambiente [SDA], 2011, pp. 6-7)

Otra debilidad del sistema bogotano es el taponamiento frecuente de los sumideros y también de las tuberías subterráneas por causa de las basuras y otros factores, situación agravada por la insuficiente intervención (de limpieza) sobre el sistema. Esta situación se ha intentado solucionar instalando geotextil sobre los sumideros, con poco éxito (figura 2). En 2007, una fuerte granizada bloqueó los sumideros superficiales de grandes sectores del centro de la ciudad y, en consecuencia, avenidas importantes (por ejemplo, la avenida calle 26) se llenaron de agua, al

punto de que los automóviles flotaban a la deriva, como se puede apreciar en varios videos que se encuentran en la web<sup>2</sup>.

En algunos sectores de Bogotá, el alcantarillado de aguas pluviales es independiente al de aguas servidas, pero en otros, es combinado. No obstante, al final del tubo todos los alcantarillados vierten su contenido al mismo receptor: el río Bogotá. Esto genera un desperdicio o no aprovechamiento del recurso pluvial de la ciudad que, por su localización en la zona intertropical, es inmenso. Asimismo, gran parte del agua del acueducto de Bogotá, que pasa por un proceso prolongado y costoso para llegar a ser potable<sup>3</sup>, se consume en actividades que no requieren potabilidad, como la descarga de sanitarios<sup>4</sup>, el riego de jardines y el lavado de automóviles. El enorme volumen de agua del acueducto que se despilfarrara al año en estas actividades podría destinarse a verdaderas necesidades de consumo humano si se aprovecharan las aguas pluviales para usos que no requieren potabilidad.

2 Por ejemplo, puede verse [https://www.youtube.com/watch?v=H\\_1d5XMn8Y](https://www.youtube.com/watch?v=H_1d5XMn8Y)

3 En Colombia, la cadena de valor del acueducto incluye: 1) captación; 2) aducción; 3) tratamiento; 4) conducción; 5) distribución, y 6) comercialización.

4 "Por los sanitarios de Bogotá se arrojan hasta 87,6 millones de metros cúbicos de agua potable cada año, lo que por poco equivale al volumen de agua que contiene el embalse del Sisga, que reserva 101 millones de m<sup>3</sup> en 700 hectáreas de superficie" (Molina-Prieto, 2014, p. 176).

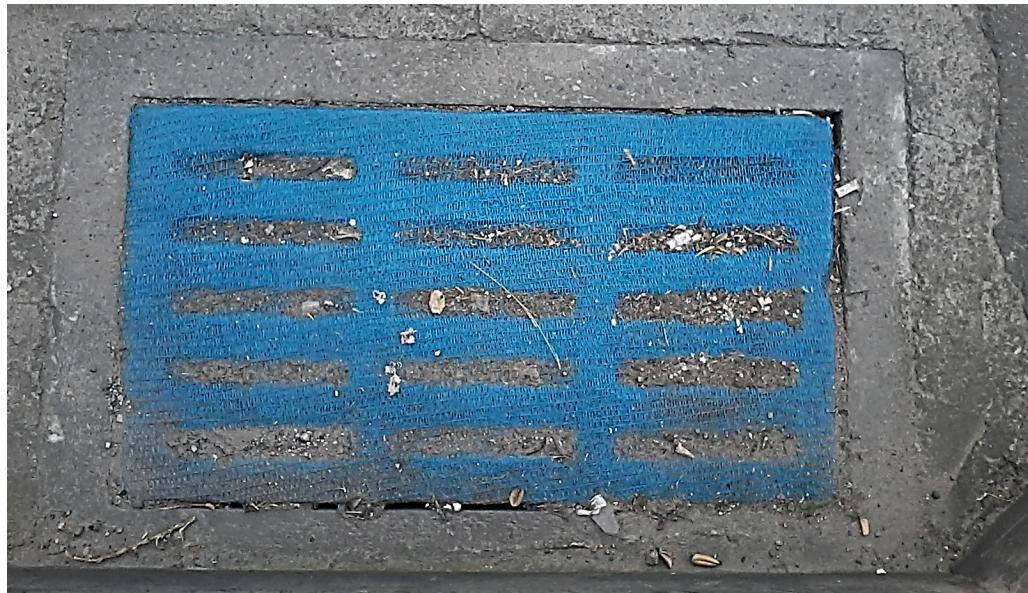


Figura 2. Sumidero protegido con geotextil y taponado, en localidad Teusaquillo de Bogotá

Fuente: archivo personal del autor

A pesar de experiencias a escala de parcela y algunos proyectos demostrativos de aprovechamiento de aguas lluvias con resultados alentadores en todo el país reportados en la literatura (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006; Castañeda, 2010; Galarza-Molina et al., 2015; Lara-Borrero et al., 2007; Sánchez y Caicedo, 2003), aún no se han desarrollado proyectos a gran escala en Bogotá. Todo lo anterior genera enormes costos económicos y ecológicos a la ciudad.

## Metodología

En un primer momento se valoraron las amenazas asociadas con las aguas pluviales urbanas, puesto que ponen en peligro a los habitantes de las ciudades contemporáneas. Los riesgos provienen de: i) incremento de tormentas y precipitaciones por efecto del cambio climático; ii) concentración de la población mundial en las ciudades; iii) reducción de la tasa de infiltración en áreas urbanas en crecimiento constante,

lo cual incrementa los volúmenes y caudales de escorrentía, y iv) obsolescencia del sistema de drenaje moderno en muchas ciudades, es decir, el sumidero y el tubo, junto con las soluciones “al final del tubo”. Estas condiciones se observan en un área de estudio: la ciudad de Bogotá.

En un segundo momento se hizo una revisión sistemática<sup>5</sup> no aleatoria de los principales paradigmas contemporáneos para la gestión de las aguas pluviales. A continuación se sintetizó cada uno de los paradigmas seleccionados, incluidos sus orígenes y el enfoque de la gestión pluvial que propone, además de los países o las regiones en donde se ha aplicado.

Por último, a partir del estudio de las condiciones de la ciudad de Bogotá, junto con el análisis de los paradigmas seleccionados, se elaboró una propuesta para la gestión de las aguas urbanas de Bogotá, con énfasis en las cuatro dimensiones que deben intervenirse para su puesta en práctica.

5 Debido a que en muchos casos la información forma parte de documentos oficiales, la búsqueda se llevó a cabo en los idiomas originales: alemán, danés, español, francés, inglés, japonés, malayo y sueco.

## Resultados

### Gestión de las aguas pluviales urbanas: nuevos paradigmas

#### Norteamérica

— Low impact development (LID) y low impact urban design and development (LIUDD). El término “desarrollo de bajo impacto” fue usado originalmente por Barlow y otros autores (1977) en un informe sobre la planificación del uso del suelo en Vermont, Estados Unidos. LID plantea la gestión del agua pluvial basada en un “enfoque de naturaleza”, a partir del diseño del sitio y de la cuenca que genere un paisaje hidrológico funcional y fortalezca procesos naturales como la infiltración, la evapotranspiración y la recarga de acuíferos. Desaconseja las grandes soluciones “al final del tubo” por ser ineficientes y emplea dispositivos para la retención o el tratamiento de las aguas lluvias como los biorretenedores, los techos verdes y los humedales. Ampliamente utilizado en Estados Unidos y Canadá, LID adquirió nuevos significados al integrarse con los principios ambientales de los maoríes —comunidad originaria de Nueva Zelanda— y vincularse más a la descontaminación de las aguas y a la salud de los ecosistemas, por lo que cambió su nombre por LIUDD (Fletcher et al., 2014).

— Source control (SC). El control en la fuente es considerado por Petrucci (2012) un sistema alternativo (AT) para la gestión de aguas pluviales que enfoca su manejo en el lugar en donde se generan las escorrentías y no aguas abajo o al final de la cuenca, donde se produce acumulación. Los primeros documentos al respecto fueron elaborados por la American Public Works Association en 1981 y se orientaban a minimizar las escorrentías y aprovechar la infiltración y la evapotranspiración. SC se utiliza en ciudades de Canadá como Ontario y Vancouver y también en Francia (Fletcher et al., 2014).

— Integrated urban water management (IUWM). La gestión integrada del agua urbana fue propuesta por Biswas en 1981, en un artículo que explora soluciones a las crecientes necesidades de agua de la especie humana. IUWM propone la gestión integral de las aguas urbanas (de abastecimiento, subterráneas, residuales y pluviales) y busca fortalecer el ciclo del agua; tener en cuenta todas las necesidades de agua (antropogénicas y ecológicas); considerar el contexto social, cultural y económico local; trabajar por la sostenibilidad urbana. Es un concepto de origen canadiense que se ha implementado en ese país (Fletcher et al., 2014).

— Green infrastructure (GI). La infraestructura verde es un concepto espacial que surgió en Estados Unidos en la década de 1990. Abarca una serie de elementos además de las aguas pluviales, pues hace referencia a la red de espacios verdes interconectados que son planificados para aprovechar sus beneficios ecológicos y ambientales (Remolina, 2011). GI se confunde en Colombia con la estructura ecológica principal (concepto semejante de origen europeo introducido en la planificación territorial por el científico holandés Tomas van der Hammen) que abarca las reservas naturales, los parques, los cuerpos de agua y las rondas hídricas. Ha sido adoptado en todo el mundo y es fundamental en planes de ordenamiento territorial, proyectos de paisaje y planificación urbana. De acuerdo con Foster, Lowe y Winkelman (2011), actualmente GI incluye techos verdes, pavimentos permeables, silvicultura urbana y otras adaptaciones urbanas y arquitectónicas para hacer ciudades más resilientes.

— Best management practices (BMP) y storm-water control measures (SCM). El término buenas prácticas de gestión fue utilizado por primera vez en Estados Unidos en 1949. En el campo de la gestión pluvial se refiere a medidas estructurales y no estructurales relacionadas con

la mejora de la calidad del agua. Desde 2011, la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos exige un plan de BMP para otorgar permisos para el manejo de aguas pluviales que reduzcan la carga contaminante y regulen sus caudales mediante sistemas de biorretención, infraestructuras verdes, pavimentos permeables y otros recursos técnicos (Fletcher et al., 2014). Para Ellis, Chocat, Fujita, Marsalek y Rauch (2004), las BMP son medidas estructurales, como instalaciones de infiltración, humedales, franjas de vegetación en vías, filtros y reservorios para la detención o la retención del agua pluvial, que permitan la regulación de su caudal y su descontaminación. En 2008 se intentó reemplazar el término BMP por stormwater control measures (SCM) (medidas de control de aguas pluviales), por considerarse más adecuado, pero hoy se manejan los dos términos.

### Asia

— Experimental sewer system (ESS). El concepto de sistema de alcantarillado experimental surgió en Japón y busca recargar los acuíferos, controlar las escorrentías donde se originan, restaurar los manantiales, mantener el caudal de los ríos urbanos y conservar los ecosistemas acuáticos, lo que permite reducir el efecto de isla de calor, estimular el crecimiento de los árboles, prevenir el hundimiento del suelo y evitar desastres asociados con las aguas pluviales. Fue implementado en principio en el distrito occidental de Tokio, en un programa de trece años de duración (entre 1982 y 1994) y, tras las primeras evaluaciones, Shoichi Fujita, del Departamento de Aguas Residuales de la ciudad de Tokio, propuso el ESS en una ponencia presentada en 1984, en Chalmers University de Suecia (Fujita, 1984; Scholes et al., 2006).

— Manual saliran mesra alam (MSMA). El manual de drenaje amigo de la naturaleza,

conocido equivocadamente en inglés como *Urban Stormwater Management Manual for Malaysia*, fue aprobado por el Gobierno de ese país en 2001. MSMA busca regular la gestión de las aguas pluviales urbanas con medidas estructurales y no estructurales, con el fin de reducir las escorrentías de origen pluvial, el riesgo de inundación y la contaminación de los ecosistemas hídricos superficiales y subterráneos. Si bien MSMA tiene un importante antecedente en el *DID Manual*, publicado en 1960 por el Departamento de Irrigación y Drenaje del Gobierno de Malasia (Department of Irrigation and Drainage [DID], 2000), de acuerdo con Scholes et al. (2006), está influenciado por los conceptos de WSUD de Australia.

— Urban ecological infrastructure (UEI). Concepto de origen chino que Li y otros autores (2017) plantean para la gestión integrada de tres infraestructuras urbanas: azul (ríos, quebradas, arroyos, lagos, estanques y humedales), verde (parques, bosques, áreas de cultivo, techos verdes y otros espacios verdes naturales o artificiales) y gris (vías vehiculares y peatonales, red eléctrica, sistemas de drenaje artificiales). UEI incluye además las “salidas”, es decir, las externalidades que genera la ciudad: emisiones, residuos sólidos y líquidos, así como las “arterias”, o sea, los corredores ecológicos que permiten el flujo de materia, energía e información entre los componentes azul, verde y gris del sistema ciudad.

### Europa

— Alternative techniques (AT). Concepto francés muy utilizado a partir de la década de 1980 en los países francófonos por su enfoque natural. Tiene tres objetivos: usar un drenaje eficiente, reducir la contaminación y mejorar la calidad de vida. Uno de sus efectos fue que a partir de 1994 cada proyecto de diseño urbano incluyó la gestión de sus aguas pluviales (Azzout, Barraud,

Cres y Alfakih, 1994). La palabra “alternativas” se prestó a malentendidos y malinterpretaciones por parte de los profesionales. En consecuencia, las normas de diseño para AT en Francia se limitan a aspectos hidráulicos que reduzcan las inundaciones, sin considerar aspectos paisajísticos ecológicos o de esparcimiento (Fletcher et al., 2014).

— Dezentrale regenwasserbewirtschaftung (DR). En Alemania, la gestión de las aguas pluviales urbanas empezó a cambiar en la década de 1980, con técnicas individuales que incluían infiltración, almacenamiento de aguas lluvias y techos verdes. Los términos evolucionaron hasta llegar a DR (gestión descentralizada de aguas pluviales) que forma parte de la Ley Federal del Agua desde 2006 (Fletcher et al., 2014). DR busca permanente protección de las aguas subterráneas, superficiales y potables de las ciudades; reducción del ingreso de sustancias residuales o contaminantes a los sistemas de alcantarillado y protección de los ecosistemas y la biodiversidad. Es un sistema descentralizado basado en la evaporación, la evapotranspiración y la percolación, por lo que recurre al enverdecimiento de la ciudad y la arquitectura mediante techos y fachadas verdes, desimpermeabilización de las superficies urbanas y la plantación de árboles (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2010).

— Lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD). El concepto “disposición *in situ* de las aguas lluvias” surgió en Suecia en 1983, al ser utilizado por la Asociación de acueductos y aguas residuales. LOD forma parte de la normativa urbana sueca y exige a cada parcela o lote la gestión de sus aguas lluvias, de modo que gran cantidad de las aguas pluviales se gestionan en suelos de propiedad privada. Utiliza técnicas como lagunas secas y húmedas, zanjas, jardines de lluvia, áreas de infiltración y techos verdes (Matschoss-Falck, 2013). Apunta a cinco

objetivos: suprimir las escorrentías y por tanto las inundaciones; reducir la carga a los sistemas de alcantarillado; minimizar el volumen de residuos líquidos que llegan a las plantas de tratamiento; mantener el nivel freático; reducir el índice de impermeabilización del suelo urbano (Stockholms stad, 2014).

— Lokal afledning af regnvand (LAR). En Dinamarca el término “descarga *in situ* de las aguas lluvias” fue introducido en 1990 (Fletcher et al., 2014) y hoy forma parte de la normativa urbana de las ciudades y los municipios daneses. Incrementa la independencia hídrica de los hogares, al tiempo que reduce las escorrentías y los riesgos de inundación. Incluye dispositivos de acumulación como los tanques para aguas lluvias, además de elementos para ralentizar o retener la dinámica de las aguas pluviales, como los techos y los muros verdes (Miljøministeriet, 2012). Promueve tres alternativas: i) lúdicas, como pistas de patinaje que en momentos lluviosos funcionan como eficientes canales a cielo abierto para conducir las aguas de escorrentía; ii) paisajísticas, que mediante lagos y humedales (recuperados o artificiales) gestionan, retienen y permiten la percolación de las aguas pluviales, y iii) de ingeniería, que se orientan a la desimpermeabilización de las zonas destinadas a la movilidad peatonal y vehicular (Naturstyrelsen, 2012).

— Sustainable urban drainage systems (SUDS). Se cree que fue Jim Conlin, de Scottish Water, empresa pública de Escocia responsable del manejo de las aguas potables y residuales, quien acuñó en 1997 el término “sistemas urbanos de drenaje sustentable”. A partir de allí, el enfoque de la gestión de las aguas pluviales en el Reino Unido empezó a cambiar y se consolidó en 2001, cuando Construction Industry Research and Information Association (Ciria) (2000), asociación independiente para la investigación y la información de la industria de la construcción,

publicó un manual para la implementación de los SUDS en Inglaterra, Escocia, Gales e Irlanda del Norte. Estas directrices técnicas fueron elevadas a ley en Inglaterra: Flood and Water Management Act, 2010. Desde 2003, los SUDS son exigidos en Escocia para aprobar los nuevos desarrollos urbanos (Fletcher et al., 2014). Los SUDS abarcan una amplia gama de estrategias técnicas para la gestión de las aguas pluviales.

### *Oceanía*

— Water sensitive urban design (WSUD). Término de origen australiano utilizado por primera vez por Mouritz (1992) y, poco después, en un informe sobre el oeste de Australia preparado por Whelans, Maunsell y Thompson (1994). Proponía gestionar un balance hídrico que tuviera en cuenta las aguas superficiales, las inundaciones y la erosión hídrica; mantuviera la calidad del agua, al reducir los contaminantes y proteger la vegetación asociada con los cuerpos de agua; disminuyera el consumo de agua potable, al recurrir al recurso pluvial para usos no potables; fomentara las actividades recreativas en torno al agua. Pocos años después, otros autores (Wong et al., 2000; Lloyd, Wong y Chesterfield, 2002) consolidaron la propuesta de WSUD mediante una serie de publicaciones que pronto permearon las políticas públicas de Melbourne. WSUD integra todas las aguas urbanas (potables, pluviales y servidas) y se vincula a otras disciplinas como la planificación y el diseño de las ciudades (Fletcher et al., 2014).

— Water sensitive cities (WSC). De origen australiano, el término WSC fue empleado por primera vez en 2004 al ser incluido en la Australian Commonwealth's National Water Initiative (Council of Australian Governments, 2004). Supera el objetivo de controlar las inundaciones, puesto que abarca componentes ambientales, educativos y culturales, socioeconómicos y de gobernanza, de diseño urbano e hidráulico,

entre otros (Brown, Keath y Wong, 2009). Se sustentan en tres pilares: las ciudades deben planificarse como cuencas en donde la población tenga acceso a múltiples fuentes hídricas, unas centralizadas y otras descentralizadas; las funciones naturales de los ecosistemas deben ser fortalecidas por la existencia de las ciudades, es decir, lo construido debe fortalecer lo natural; la base sociopolítica y cultural de las WSC son las comunidades sensibles al agua y son ellas las que aportan sostenibilidad al concepto, merced a sus comportamientos respecto a las fuentes de agua y su injerencia en la toma de decisiones (Floyd, Iaquinto, Ison y Collins, 2014). Cuenta con un centro de investigaciones ininterrumpidas en Australia y Singapur, financiado por esos dos Estados, con sede en cuatro ciudades (Brisbane, Melbourne, Perth y Singapur), que aborda cuatro grandes programas:

Programa A. Sociedad. Proyectos: A1) modelación y análisis económico; A2) innovación social y cambios de comportamiento; A3) gobernanza y reformas regulatorias, y A4) transformaciones sociales y técnicas.

Programa B. Urbanismo sensible al agua. Proyectos: B1) cuencas de captación a escala de la era del cambio climático para WSC; B2) planificación, diseño y gestión para mantener y restaurar cuerpos de agua receptores; B3) diseño urbano sensible al agua y microclima urbano; B4) fortalecimiento sociotécnico de la resiliencia a inundaciones en ciudades y pueblos, y B5) planificación reglamentada para el diseño urbano sensible al agua.

Programa C. Tecnologías futuras. Proyectos: C1) tecnologías innovadoras para la adaptación al uso previsto del agua; C2) recuperación de recursos de aguas servidas; C3) gestión de interacciones entre aguas centralizadas y descentralizadas; C4) sistemas de agua urbanos integrados y multifuncionales, y C5) sistemas de aguas urbanas inteligentes.

Programa D. Adoptar caminos. Proyectos: D1) integración y demostración; D2) influencia en las políticas de WSC; D3) fortalecimiento de programas educativos que fomenten la sensibilidad al agua; D4) intensificación de la infraestructura verde urbana, y D5) evaluación e impacto de la WSC.

### América Latina

— Agua azul para ciudades verdes. Se trata de una iniciativa del Banco Mundial que se aplicó entre 2009 y 2012 en ocho ciudades de América Latina, seleccionadas por haber desarrollado una

buena gestión integrada de las aguas urbanas: Buenos Aires (Argentina), Sao Paulo y Aracajú (Brasil), Bogotá y Medellín (Colombia), Tegucigalpa (Honduras), Monterrey (Méjico) y Asunción (Paraguay). Con el programa se intentó reducir la vulnerabilidad de las ciudades frente a los efectos del cambio climático, minimizar la fragmentación interinstitucional, fortalecer y hacer más eficiente la gestión del agua, reducir los riesgos de inundación y garantizar el suministro a toda la población (Banco Mundial, 2012).

Los nuevos paradigmas para la gestión de las aguas pluviales urbanas se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Nuevos paradigmas para la gestión de las aguas pluviales urbanas

	País de origen	Gestión pluvial	Fomenta	Desaprueba
Norteamérica				
Low impact development (LID)	Estados Unidos	Enfoque de naturaleza.	Paisaje hidrológico funcional, reducción de inundaciones.	Soluciones al final del tubo, gestión no integrada.
Low impact urban design and development (LIUDD)	Estados Unidos	Enfoque de naturaleza.	Descontaminación, salud de ecosistemas, reducción de inundaciones.	Soluciones al final del tubo, gestión no integrada.
Source control (SC)	Canadá	<i>In situ</i> : minimiza escorrentías.	Infiltración y evapotranspiración, reducción de inundaciones.	Soluciones aguas abajo, gestión no integrada.
Integrated urban water management (IUWM)	Canadá	Manejo integrado de aguas potables, pluviales y servidas.	Ciclo hidrológico, contexto social y cultural, reducción de inundaciones.	Gestión no integrada.
Green infrastructure (GI)	Estados Unidos	Mediante la infraestructura verde.	Techos verdes, pavimentos permeables, silvicultura urbana, zonas verdes, reducción de inundaciones.	Desintegración de elementos naturales urbanos, gestión no integrada.
Best management practices (BMP)/Stormwater control measures (SCM)	Estados Unidos	Descontaminación y regulación de caudales.	Biorretenedores, zonas de infiltración, pavimentos permeables, reducción de inundaciones.	Gestión no integrada.
Asia				
Experimental sewer system (ESS)	Japón	<i>In situ</i> : minimiza escorrentías.	Recarga de acuíferos, conservación de ecosistemas, restauración de manantiales, reducción de inundaciones.	Soluciones aguas abajo, gestión no integrada.
Manual saliran mesra alam (MSMA)	Malasia	<i>In situ</i> : minimiza escorrentías.	Descontaminación, salud de ecosistemas, reducción de inundaciones.	Soluciones aguas abajo, gestión no integrada.
Urban ecological infrastructure (UEI)	China	Infraestructura azul, verde y gris.	Manejo integrado de aguas urbanas, reducción de inundaciones.	Soluciones aguas abajo, gestión no integrada.

	País de origen	Gestión pluvial	Fomenta	Desaprueba
Europa				
Alternative techniques (AT).	Francia	Descontaminación, drenaje eficiente.	Reducción de riesgos de inundación.	Proyectos arquitectónicos sin estrategia pluvial, gestión no integrada.
Dezentrale regenwasserbewirtschaftung (DR)	Alemania	Protección de aguas urbanas y ecosistemas.	Techos verdes, pavimentos permeables, silvicultura urbana, zonas verdes, reducción de inundaciones.	Gestión no integrada.
Lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD)	Suecia	<i>In situ</i> , gestión privada.	Infiltración, techos verdes, lagunas secas, tanques para aguas lluvias, reducción de inundaciones.	Descargas pluviales desde predios privados al alcantarillado, gestión no integrada.
Lokal afledning af regnvand (LAR)	Dinamarca	<i>In situ</i> , gestión privada	Infiltración, techos verdes, tanques para aguas lluvias, reducción de inundaciones.	Descargas pluviales desde predios privados al alcantarillado, gestión no integrada.
Sustainable urban drainage systems (SUDS)	Escocia	Múltiples estrategias.	Pavimentos permeables, techos verdes, zanjas de infiltración, separadores hidrodinámicos y estanques de retención, entre otros.	Gestión no integrada.
Oceanía				
Water sensitive urban design (WSUD)	Australia	Manejo integrado de aguas potables, pluviales y servidas.	Interdisciplinariedad, tanques para aguas lluvias.	Gestión no integrada.
Water sensitive cities (WSC)	Australia	Ciudades-cuencas, habitantes capacitados para gestión independiente.	Fuentes hídricas centralizadas y descentralizadas, integración sociedad-urbanismo-tecnología, tanques para aguas lluvias.	Gestión no integrada.
América Latina				
Agua azul para ciudades verdes	Desarrollo regional.	Manejo integrado de aguas potables, pluviales y servidas.	Manejo de cuenca, mejorar distribución y alcance del servicio.	Fragmentación interinstitucional.

Fuente: elaboración propia

## Bogotá, una ciudad sensible al agua: dimensiones a intervenir

Luego de hacer un balance de los nuevos paradigmas en gestión de aguas lluvias urbanas, se concluye que el más apropiado para Bogotá es el de la ciudad sensible al agua, porque es el único que abarca todos los factores que intervienen en la gestión de las aguas pluviales urbanas. En efecto, este paradigma se caracteriza por una articulación benéfica entre diversas disciplinas como la

arquitectura, el urbanismo, la ingeniería hidráulica, el paisajismo, la economía, la sociología, la cultura y la educación. WSC busca la equidad intergeneracional y la resiliencia urbana frente a los efectos del cambio climático, mediante la implementación de diseños especialmente adaptables e infraestructuras flexibles que permitan su uso de manera multifuncional.

Dado que la capital de Colombia posee condiciones y dinámicas propias y que el cambio en la gestión de las aguas pluviales de la ciudad

concerne a una serie muy diversa de aspectos clave, a continuación se esbozan las cuatro dimensiones que deben ser intervenidas para que Bogotá pueda iniciar su transición hacia la WSC.

## Dimensión natural

Los espacios azules (Nutsford, Pearson, Kingham y Reitsma, 2016), la infraestructura azul (Conrad, Wannous y Pakzad, 2015) y los ecosistemas urbanos azules (Haase, 2015)<sup>6</sup> deben ser rehabilitados o restaurados con el objetivo de emplearlos como elementos básicos para el ordenamiento territorial, de manera que fortalezcan el ciclo hidrológico, reduzcan los riesgos de inundación y aporten a Bogotá los múltiples servicios ambientales que solamente los cuerpos de agua pueden generar<sup>7</sup> y, en consecuencia, contribuyan a la autosuficiencia, la sostenibilidad y la resiliencia de la ciudad. Para esto es esencial retornar a la visión primaria de cuenca hidrológica en la que la ciudad se encuentra inmersa y pensar en soluciones de drenaje que comprometan lo mínimo posible el equilibrio del ciclo hidrológico natural en cuanto a cantidad y calidad del agua y de los ecosistemas asociados, de modo que pueda planearse una recirculación y una reutilización del agua a escala de cuenca y no solo de parcela. Ya que la anterior es una visión de largo plazo, es necesario que a corto y mediano término el agua lluvia que captan los espacios azules y la que llegue a ellos por escorrentía no sea vertida directamente en los ríos urbanos, en particular al río Bogotá, hasta que estos se descontaminen. Por el contrario, la ciudad debe intentar retener en reservorios a cielo abierto o subterráneos la mayor cantidad de agua pluvial que le sea posible

y aprovecharla en riego de jardines, lavado de automóviles y procesos industriales que requieran agua no potable y ceder, cuando sea necesario, espacios en la estructura urbana para nuevos lagos artificiales, lagunas de retención u otros contenedores o reservorios para aguas pluviales. Paralelo a ello, es necesario fortalecer dos procesos naturales: la infiltración del agua lluvia al suelo —para contribuir a la recarga de los acuíferos— y su evaporación, lo que se incrementa cuando se conducen las aguas pluviales a cielo abierto<sup>8</sup>.

La vinculación de la flora al espacio azul es fundamental, puesto que las especies vegetales también participan en la gestión del agua lluvia, en parte porque la consumen durante los procesos fotosintéticos y en parte porque la retornan a la atmósfera por evapotranspiración. Otras dos funciones que desempeña la flora al vincularse a los espacios azules son la descontaminación del agua cuando las plantas acuáticas actúan como biofiltros y su retención cuando la vegetación capta el agua y se desempeña como biorretenedora.

Por otro lado, para la selección de árboles, arbustos y plantas a utilizar en los espacios azules, en las áreas verdes y en las edificaciones de la ciudad, es crucial tener en cuenta tres variables que determinan la capacidad de las plantas para gestionar el agua: el tipo de fotosíntesis, el metabolismo y la eficiencia en el uso del agua. Por último, el suelo urbano también debe ser intervenido, de modo que en torno a la red vial vehicular el suelo se exponga, se recupere o se “restaure”, es decir, se desnude, claro está, protegido por la cobertura

6 Es decir, quebradas, ríos, lagos, lagunas, humedales y canales tanto naturales como artificiales.

7 Actualmente se asignan cuatro tipos de servicios ambientales a los cuerpos de agua urbanos: servicios de aprovisionamiento, de regulación, culturales y de apoyo (Liu et al., 2007). Los de aprovisionamiento se refieren a la generación de productos en los ecosistemas como agua, alimentos, energía y recursos genéticos. Los de regulación corresponden a bienes y beneficios procurados por la existencia de estos ecosistemas acuáticos en áreas urbanas como la regulación del clima; la purificación y descontaminación del agua; el control de la erosión y la oportunidad de acceso a la naturaleza por parte de la ciudadanía. Los culturales se refieren a los beneficios no materiales que proporcionan como los valores educativos, espirituales, estéticos y la oportunidad para las actividades recreativas. Los de apoyo son indirectos e incluyen la producción primaria, es decir, la base de todas las cadenas alimentaria; la producción de oxígeno; la formación de suelo; el fortalecimiento del ciclo del agua y la provisión de hábitat para innumerables especies de peces, anfibios y aves (Lundy y Wade, 2011).

8 La capacidad de un dique a cielo abierto con débil pendiente lateral es aproximadamente nueve veces mayor que para una tubería con la misma altura de llenado (Svenskt Vatten, 2014, p. 18).

vegetal apropiada, para que el agua lluvia lo permee, lo humecte y se infiltre al subsuelo.

## Dimensión material

Las construcciones de la ciudad y la ciudad misma —entendida desde el punto de vista de los objetos materiales que la conforman— debe reinventarse, reconcebirse, reimaginarse, a tal punto que el agua lluvia pierda su significado de amenaza o riesgo y readquiera una muy antigua valoración: su potencial como fuente hídrica. Mientras los artefactos en los que habita el ser humano tengan una cubierta obligatoria que, como un sombrero, repele el agua lluvia, se continuará desperdiando este recurso. Por tanto, es urgente un cambio de paradigma en cuanto a la concepción de esos objetos para que, en lugar de la cubierta repelente, cuenten con un embudo que la capte y un sistema de conducción que la lleve hasta un lugar de almacenamiento para aprovecharla *a posteriori* en usos no potables<sup>9</sup>. A eso se le llama descentralización: cada ciudadano, por su propia cuenta, recoge, acopia y dispone del agua que le cae del cielo. Entonces, la ciudadanía disminuiría su dependencia del acueducto y la presión sobre los ecosistemas a los que se les secuestra el agua para conducirla hasta las ciudades también se reduciría.

La ciudad debe prepararse para recibir las tormentas y los chubascos de los que ya ha dado muestras el cambio climático. El comportamiento integral de Bogotá debe ser el de una hidrópolis, o sea, el de una ciudad en la que sus habitantes conviven con el agua en todas sus formas, donde en cada sitio habitable existe un lugar y un

espacio para el agua<sup>10</sup>. Una ciudad donde el agua lluvia no se esconda, no se oculte ni se extraiga de manera expedita del perímetro urbano por un tubo, sino que se conduzca a cielo abierto, con lentitud, ralentizada, para evitar la acumulación o el desvío, entre cuencas urbanas de las que forman parte las edificaciones, el espacio público, los espacios azules y la infraestructura verde<sup>11</sup>. Agua lluvia que, además, abasteza grandes, medianos y pequeños reservorios pluviales en torno a los cuales transita en calma la vida urbana<sup>12</sup>.

Por último, es preciso que las superficies duras de la ciudad contribuyan con el ciclo hidrológico; por ende, sus materiales de construcción deben estar adaptados específicamente para gestionar el agua lluvia de escorrentía en la misma forma en que otros artefactos de la ciudad, por ejemplo, como las vías vehiculares, que se construyen con materiales que se adaptan a las exigencias de los vehículos. En consecuencia, las zonas duras<sup>13</sup> de Bogotá deben ser fuertes, pero permeables; permeables, pero con propiedades de descontaminación o al menos de retención temporal de contaminantes; rígidas, pero porosas.

## Dimensión humana

Para que la ciudad inicie la transición hacia la WSC es necesario que todas las partes interesadas, es decir, los individuos y conglomerados que tienen un vínculo directo con el agua lluvia de escorrentía, ya sea consciente o no, reflexionen sobre la relación de dependencia que siempre ha existido y existirá entre el ser humano y el agua. Lo anterior, con el objetivo de retomar la

9 Mediante envolventes verdes, superficies captadoras de agua y tanques para aguas lluvias.

10 Tanques para aguas lluvias, muros azules, entrepisos azules, superficies urbanas permeables, disposición *in situ* de aguas pluviales.

11 Conducción superficial de aguas pluviales mediante la recuperación o recreación de cuerpos de agua originales de la ciudad, por ejemplo, el eje ambiental que recreó y rescató el entubado río San Francisco.

12 En este contexto se recomienda la construcción de: i) sistemas de acopio comunitario: cisternas urbanas para conservar aguas pluviales destinadas a riego de parques y jardines públicos en épocas de sequía o verano, y ii) obras civiles sensibles al agua: canales para la conducción de aguas pluviales (de preferencia en tierra armada); sistemas de almacenamiento geocelular (superficiales y profundos), estructuras de control, dispositivos de separación, sistemas de filtración y sistemas para el control de caudales.

13 Plazas, plazoletas, zonas de parqueo y vías para peatones, ciclistas y automóviles.

primigenia y natural conexión que enlazaba a las personas con las fuentes de agua. Ese nexo inquebrantable en el que los individuos y las comunidades dependían por entero del río, la quebrada o el lago e incluso del agua lluvia, de modo que eran incapaces de envenenar —contaminar o polucionar, en lenguaje contemporáneo— las fuentes de agua de las que se abastecían, puesto que sin ellas desaparecía la posibilidad de la existencia y de la vida.

No obstante, la conciencia hídrica de la enorme y diversa población que habita en una ciudad tan desigual e inequitativa como Bogotá supone un gran esfuerzo educativo, puesto que se debe llegar tanto a la ciudad formal, donde los habitantes son meros consumidores que pagan mensualmente por los servicios de acueducto y alcantarillado y no sufren interrupciones ni racionamientos, como a las comunidades asentadas en la ciudad informal<sup>14</sup>, donde los servicios de acueducto y alcantarillado son precarios, intermitentes o inexistentes. Esta condición binaria o dual que impera en muchas ciudades latinoamericanas y, por supuesto, también en Bogotá<sup>15</sup> presenta un doble reto para la Secretaría de Educación Distrital. Sus funcionarios y creativos deben concebir programas, estrategias y campañas de mercadeo social que fomenten la reflexión sobre la relación agua-ser humano, con el objetivo de estimular cambios de comportamiento individual, grupal y colectivo en relación con el agua. Deben dirigirlos a dos componentes poblacionales: unos que consumen, desperdician y contaminan el agua, puesto que pagan para darse ese lujo (o sea, los habitantes de la ciudad formal, que incluye a las industrias) y los que carecen de agua potable y, si la consiguen de modo alternativo (por ejemplo, por medio de carro tanques), vierten sus aguas

servidas en las fuentes hídricas de su entorno, con lo que eliminan la posibilidad de aprovecharlas.

Otros dos aspectos humanos están relacionados con la transición hacia la WSC el primero concierne a la seguridad, puesto que las tormentas e inundaciones afectan a la ciudad formal e informal de maneras bien distintas. En la primera causan daños, a lo sumo, en bienes muebles e inmuebles y en automotores, pero en la segunda provocan deslaves, derrumbes, deslizamientos de tierra y catástrofes que arrasan con barrios enteros y cobran muchas víctimas en cada temporada invernal. El segundo se relaciona con el nivel de escolaridad, puesto que es muy diferente hacer reflexionar a quienes se han educado para ello y a las personas carentes de oportunidades que rondan el analfabetismo, es decir, a los habitantes de las áreas marginales, a los pobladores de la ciudad informal.

En todos los casos, el agua en la ciudad debe ser algo más allá de un simple gasto familiar representado en una factura. La gestión del agua en la ciudad (que es por lo que el ciudadano paga, y no por el agua como tal, lo cual le daría plenos derechos como desperdiciar o contaminar) no puede entenderse sin conocimientos básicos de cuenca y ciclo hidrológico, dos saberes que deberían formar parte de los programas de educación en los primeros grados de formación básica de los habitantes de la ciudad. Se propone entonces que el tema del cuidado y del aprovechamiento de las diversas fuentes hídricas de Bogotá, incluida la pluvial, se vincule a los programas de educación básica y secundaria de todos los colegios de la ciudad, tanto públicos como privados y que además, se hagan campañas de educación ciudadana que trasciendan la limitante que se presenta

14 "En el último período intercensal se construyeron 875.831 unidades nuevas de las que sólo 262.569 contaban con licencia de construcción, lo que hace suponer que las 613.200 restantes fueron producidas mediante mecanismos informales [...]. Esto quiere decir que la informalidad en el período intercensal en Bogotá constituyó el 70 % del crecimiento de la vivienda en la ciudad" (Camargo y Tarazona, 2013, p. 83).

15 Tardin (2006) dice: "los asentamientos informales pueden presentar distinciones de un lugar a otro, aunque mantengan en común la pobreza que les caracteriza, bien sea las *villas miseria* de Buenos Aires, las *quebradas* de Caracas, las *barreadas* de Lima, los *barrios clandestinos* de Bogotá, las *callampas* de Santiago, o los *alagados* de Salvador y los *mocambos* de Recife, estos últimos en Brasil [...]. Por otro lado, la *ciudad informal* se caracterizaría por la ilegalidad, es decir, estaría compuesta por asentamientos que se encuentran al margen de las leyes urbanísticas (autoconstrucción en la mayoría de los casos), con o sin la pose legal de la tierra" (p. 389).

frente a gran parte de los habitantes de la ciudad informal que, por falta de recursos económicos o de oportunidades, no tiene acceso a la educación básica.

### Dimensión normativa

La legislación que regule en el futuro la vida hídrica de Bogotá debe ir apuntalando en los campos administrativo, técnico, catastral, inmobiliario, jurídico y sancionatorio los avances que logre la ciudad en su transición hacia la WSC. Es fundamental la protección de la infraestructura azul y de las especies de flora y fauna que se asocien con ella. Es prioritario entonces establecer regulaciones jurídicas y cautelares que minimicen o acaben con la corrupción ligada al control de vertimientos ilegales en los cuerpos de agua de la ciudad. En cuanto a los planes de ordenamiento territorial, es perentorio que la gestión del recurso pluvial adquiera mayor relevancia, de manera que el POT priorice, determine y exija los mecanismos y sistemas apropiados para su captación, conducción y almacenamiento, tanto en los espacios públicos como en los artefactos habitables.

En relación con la legislación del agua, una división puramente administrativa del territorio no parece la más adecuada para la gestión de un recurso que involucra múltiples espacios geográficos, escalas diversas y grandes superposiciones urbano-rurales, es decir, al ser el recurso un continuo en el espacio, no resulta lógico ni adecuado que la legislación establezca discontinuidades a partir de divisiones político-administrativas. El comportamiento de una cuenca no cambia en los bordes de la ciudad ni en los límites de los barrios o las localidades. El agua que circula por una cuenca no entiende de límites artificiales; ella simplemente obedece las leyes de la gravedad y, al hacerlo, ignora todo borde administrativo. Por lo tanto, es imprescindible crear una legislación específica para la gestión del agua que trascienda cualquier tipo de frontera catastral,

jurídica, política o administrativa. Una legislación tan independiente y autónoma como la Ley del agua de Dinamarca, la Ley del agua y los medios acuáticos de Francia o la Ley federal de protección de agua de Suiza.

Lo anterior es necesario porque la actual normativa fragmenta la continuidad del recurso: las cuencas del río Bogotá y sus afluentes, que forman parte de la ciudad, son jurisdicción de dos entidades distritales: el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), mientras el río Bogotá le corresponde a la Corporación Autónoma Regional (CAR). Este despropósito político-administrativo ignora la naturaleza del agua y separa, de manera irracional, el río de sus afluentes y su propia cuenca. Lo mismo sucede en el perímetro urbano: el IDU y la EAAB actúan en el mismo territorio, manejan el mismo recurso (el agua lluvia), pero bajo lineamientos, políticas e intereses distintos. El IDU se encarga del desarrollo urbano a cielo abierto y de las vías que llevan el agua al sumidero, en tanto la EAAB administra lo que sucede entre el sumidero y el final del tubo. Así las cosas, cuando se tapona el sumidero, ¿cuál entidad es la responsable? Esas inconsistencias en la administración del agua en Bogotá hacen que su gestión sea tan ineficiente como lo ha sido hasta la fecha.

### Conclusiones

Ante problemas evidentes en la gestión de las aguas lluvias de Bogotá, se revisaron nuevos paradigmas internacionales que pudieran ser interesantes derroteros para la ciudad por su carácter incluyente, pluriobjetivo y pluridisciplinario. Como resultado, se propuso que la ciudad considerara como un modelo el concepto de ciudades sensibles al agua (water sensitive cities, WSC).

Si bien la comprensión de este nuevo paradigma para la gestión de las aguas pluviales urbanas puede ser un paso clave, parece imperativo

adaptarlo y desarrollar estrategias propias que contribuyan a su puesta en marcha. Se proponen elementos de reflexión sobre la intervención de cuatro dimensiones interrelacionadas —natural, material, humana y normativa— para hacer frente a obstáculos difíciles y arraigados en la cultura bogotana, como el pensamiento rígido, la fragmentación institucional, las políticas inflexibles y la corrupción gubernamental. Es conveniente subrayar que el concepto de ciudad sensible al agua debe adaptarse al contexto latinoamericano, nacional y de Bogotá, de modo que las estrategias, los materiales, los procesos constructivos y la mano de obra obedezcan a la idiosincrasia y cultura locales.

Algunos rasgos característicos de la propuesta de intervención en estas cuatro dimensiones son: i) la inclusión de objetivos múltiples en el saneamiento pluvial urbano, en oposición al objetivo tradicional y único de evacuar el agua lluvia lo más rápidamente posible; ii) la vinculación de la naturaleza como elemento esencial para lograr objetivos estratégicos del drenaje contemporáneo en espacios públicos urbanos; iii) el cambio de la visión de parcela a la visión de cuenca, para lograr una gestión colectiva de las aguas lluvias en la ciudad; iv) el desarrollo de materiales y artefactos urbanos para que se adapten a los múltiples objetivos del saneamiento pluvial urbano; v) el reconocimiento de la educación básica en torno al agua como herramienta para lograr una visión renovada del agua en la ciudad, de manera independiente al grado sociocultural de los habitantes, y vi) un cambio normativo e institucional que facilite la gestión de las aguas pluviales en la ciudad y simplifique la toma de decisiones sobre cuenca.

Sin embargo, dado el sesgo técnico de la visión aquí propuesta, consideramos imprescindible la mirada desde otras disciplinas y saberes en pro del desarrollo urbano sostenible alrededor del tema del agua.

Confiamos en que la presente contribución alimentará una reflexión general para construir una visión propia de largo plazo sobre el saneamiento pluvial urbano de Bogotá.

## Referencias

- Aragón-Durand, F. (2014). *Inundaciones en zonas urbanas de cuencas en América Latina*. Lima: Soluciones prácticas.
- Arias, A., Sáez, V. S., y Siso, E. (2017). Inundaciones ocurridas entre 1970 y 2005 y su relación con la precipitación del percentil 25 %. Región central de Venezuela. *Terra Nueva Etapa*, 33(53), 219-246.
- Ashley, R., Lundy, L., Ward, S., Shaffer, P., Walker, A. L., Morgan, C., ... y Moore, S. (2013). Water-Sensitive Urban Design: Opportunities for the UK. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Municipal Engineer*, 166(2), 65-76.
- Azzout, Y., Barraud, S., Cres, F., y Alfakih, E. (1994). *Techniques alternatives en assainissement pluvial. Choix, conception, réalisation et entretien*. París: Collection Tec y Doc, Lavoisier.
- Bacchin, T. K., Ashley, R., Sijmons, D., Zevenbergen, C., y Timmeren, A. (2014, septiembre 7-12). *Green-Blue Multifunctional Infrastructure: An Urban Landscape System Design New Approach*. Ponencia presentada en la 13<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage, Sarawak, International Water Association (IWA).
- Ballén, J. A., Galarza, M. A., y Ortiz, R. O. (2006, junio 5-7). *Sistemas de aprovechamiento de agua lluvia para vivienda urbana*. Ponencia presentada en el VI Serea. Seminario iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano

- de agua, João Pessoa, Universidade Federal da Paraíba.
- Banco Mundial. (2012). *Gestión integral de aguas urbanas*. Washington: Banco Mundial.
- Barlow, D., Burrill, G., y Nolfi, J. (1977). *Research Report on Developing a Community Level Natural Resource Inventory System*. Vermont: Centre for Studies in Food Self-Sufficiency.
- Biswas, A. K. (1981). Integrated Water Management: Some International Dimensions. *Journal of Hydrology*, 51(1), 369-379.
- Brown, R., Keath, N., y Wong, T. (2009). Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transition States. En R. Ashley (ed.), *Conference Proceedings: 11<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage* Edimburgo: IWA Publishing.
- Bueno, A. M., y Bello, G. P. (2014). El desbordeamiento de las políticas públicas. La ola invernal en Bogotá. *Bitácora Urbano Territorial*, 24(2), 31-37.
- Camargo, A., y Tarazona, A. (2013). Urbanización informal en Bogotá: agentes y lógicas de producción del espacio urbano. *INVI*, 28(78), 77-107.
- Castañeda, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable. *Gestión y Ambiente*, 13(2), 25-40.
- Cherrared, M., Chocat, B., y Benzerra, A. (2007). *Problématique et faisabilité du développement durable en matière d'assainissement urbain*. Lyon: Graie.
- Chocat, B., Krebs, P., Marsalek, J., Rauch, W., y Schilling, W. (2001). Urban drainage redefined: from stormwater removal to integrated management. *Water Science and Technology*, 43(5), 61.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [Cepal]. (2012). *Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia, 2010-2011*. Bogotá: Misión BID-CEPAL.
- Conrad, H. P., Wannous, J. H., y Pakzad, P. (2015, julio 20-24). *Thermal Impact of Blue Infrastructure: Casestudy Cheonggyecheon, Seoul (Korea)*. Ponencia presentada en la 9a Conferencia internacional sobre clima urbano, en conjunto con el 12o Simposio sobre ambiente urbano, Toulouse, The International Association for Urban Climate (IAUC) y The American Meteorological Society (AMS).
- Construction Industry Research and Information Association [Ciria]. (2000). *Sustainable Urban Drainage Systems: Design Manual for Scotland and Northern Ireland*. Londres: Autor.
- Coombes, P. J., Argue, J. R., y Kuczera, G. (2000). Figtree Place: A Case Study in Water Sensitive Urban Development (WSUD). *Urban Water*, 1(4), 335-343.
- Council of Australian Governments. (2004). *Intergovernmental Agreement on a National Water Initiative*. Recuperado de <http://goo.gl/E6TVLM>
- Delleur, J. W. (2003). The Evolution of Urban Hydrology: Past, Present, and Future. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(8), 563-573.
- Department of Irrigation and Drainage [DID]. (2000). *Manual Saliran Mesra Alam (MSMA)*. Kuala Lumpur: Autor.
- Díaz-Granados, M. A., y Camacho, L. A. (2012). Valoración de cambios hidrológicos en la cuenca

- del río Bogotá. *Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes* (36), 77-85.
- Ellis, J., Chocat, B., Fujita, S., Marsalek, J., y Rauch, W. (eds.). (2004). *Urban Drainage: A Multilingual Glossary*. Londres: IWA Publishing.
- Eriksson, E., Baun, A., Mikkelsen, P. S., y Ledin, A. (2007). Risk assessment of xenobiotics in stormwater discharged to Harrestrup Å, Denmark. *Desalination*, 215(1-3), 187-197.
- Fletcher, T. D., Andrieu, H., y Hamel, P. (2013). Understanding, Management and Modelling of Urban Hydrology and its Consequences for Receiving Waters: A State of the Art. *Advances in Water Resources*, 51, 261-279.
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., ... y Viklander, M. (2014). SUDS, LID, BMPs, WSUD and More —The Evolution and Application of Terminology Surrounding Urban Drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542.
- Floyd, J., Iaquinto, B. L., Ison, R., y Collins, K. (2014). Managing Complexity in Australian Urban Water Governance: Transitioning Sydney to a Water Sensitive City. *Futures*, 61, 1-12.
- Foster, J., Lowe, A., y Winkelman, S. (2011). *The Value of Green Infrastructure for Urban Climate Adaptation*. Washington: Centre for Clean Air Policy.
- Fujita, S. (1984). Experimental Sewer System for Reduction of Urban Storm Runoff. En P. Balmér, P. Malmquist y A. Sjöberg (eds.), *Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage* (pp. 1211-1220). Göteborg: Chalmers University of Technology.
- Galarza-Molina, S., Torres, A., Lara-Borrero, J., Méndez-Fajardo, S., Solarte, L., y González, L. (2015). Towards a Constructed-Wetland/Reservoir-Tank System for Rainwater Harvesting in an Experimental Catchment in Colombia. *Ingeniería y Universidad*, 19(2), 415-421.
- Gasperi, J., Gromaire, M. C., Kafi, M., Moilleron, R., y Chebbo, G. (2010). Contributions of Wastewater, Runoff and Sewer Deposit Erosion to Wet Weather Pollutant Loads in Combined Sewer Systems. *Water Research*, 44(20), 5875-5886.
- Giraldo, J. M., Leirens, S., Díaz-Granados, M., y Rodríguez, J. P. (2010). Nonlinear Optimization for Improving the Operation of Sewer Systems: The Bogota Case Study. En D. Swayne, W. Yang, A. Voinov, A. Rizzoli y T. Filatova (eds.), *2010 International Congress on Environmental Modelling and Software. Modelling for Environment's Sake*. Ottawa: IEMSS.
- Gromaire-Mertz, M. C., Garnaud, S., González, A., y Chebbo, G. (1999). Characterisation of Urban Runoff Pollution in Paris. *Water Science and Technology*, 39(2), 1-8.
- Haase, D. (2015). Reflections about Blue Ecosystem Services in Cities. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 5, 77-83.
- Harremoës, P. (1997). Integrated Water and Waste Management. *Water Science and Technology*, 35(9), 11-20.
- Hatt, B. E., Deletic, A., y Fletcher, T. D. (2006). Integrated Treatment and Recycling of Stormwater: A Review of Australian Practice. *Journal of environmental management*, 79(1), 102-113.
- Hernández-Gómez, D. H., y Serrano-Romero, R. O. (2015). Propuesta de mitigación para los sectores críticos de inundación en la localidad de Suba, Bogotá DC. *Teoría y Praxis Investigativa*, 8(1), 8-20.

- Hvitved-Jacobsen, T., Vollertsen, J., y Haaning, A. (2010). *Urban and Highway Stormwater Pollution: Concepts and Engineering*. Boca Ratón: CRC Press.
- Jiménez, S. L., Martínez, J., Muñoz, A., Quijano, J., Díaz-Granados, M., Camacho, L., ... y Pitt, R. (2016, junio 28-julio 1). Development of a Multiscale Methodology for Sustainable Urban Drainage Systems Planning. Case Study: Bogota, Colombia. Ponencia presentada en la *9th International Conference on Novatech 2016*, Lyon, Novatech.
- Kovats, R. S., y Akhtar, R. (2008). Climate, Climate Change and Human Health in Asian Cities. *Environment and Urbanization*, 20(1), 165-175.
- Lara-Borrero, J. A., Torres, A., Campos-Pinilla, M. C., Duarte-Castro, L., Echeverri-Robayo, J. I., y Villegas-González, P. A. (2007). Aprovechamiento del agua lluvia para riego y para el lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá). *ingeniería y Universidad*, 11(2), 193-202.
- Li, F., Liu, X., Zhang, X., Zhao, D., Liu, H., Zhou, C., y Wang, R. (2017). Urban Ecological Infrastructure: An Integrated Network for Ecosystem Services and Sustainable Urban Systems. *Journal of Cleaner Production*, 163(1), S12-S18.
- Liu, Y., Lv, X., Qin, X., Guo, H., yu, Y., Wang, J., y Mao, G. (2007). An Integrated GIS-Based Analysis System for Land-Use Management of Lake Areas in Urban Fringe. *Landscape and Urban Planning*, 82(4), 233-246.
- Lloyd, S. D., Wong, T. H. F., y Chesterfield, C. J. (2002). *Water Sensitive Urban Design —A Stormwater Management Perspective*. Melbourne: Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology.
- Lundy, L., y Wade, R. (2011). Integrating Sciences to Sustain Urban Ecosystem Services. *Progress in Physical Geography*, 35(5), 653-669.
- Marsalek, J., y Chocat, B. (2002). International Report: Stormwater Management. *Water Science and Technology*, 46(6-7), 1-17.
- Matschoss-Falck, E. (2013). *Local Disposal of Storm Water in Västeras – Possibilities for Increased Use in Downtown Areas*. (Tesis de pregrado inédita). Uppsala Universitet, Upsala, Suecia.
- McCarthy, D. T., Deletic, A., Mitchell, V. G., Fletcher, T. D., y Diaper, C. (2008). Uncertainties in Stormwater *E. Coli* Levels. *Water Research*, 42(6-7), 1812-1824.
- Miljøministeriet. (2012). *Brug af regnvand til wc-skyl og vaskemaskiner i boliger*. Copenhague: Rørcentret Teknologisk Institut.
- Mitchell, V. G., Hatt, B. E., Deletic, A., Fletcher, T. D., McCarthy, D., y Magyar, M. (2006). *Integrated Stormwater Treatment and Harvesting: Technical Guidance Report*. Melbourne: Institute for Sustainable Water Resources, Monash University.
- Molina-Prieto, L. F. (2014). Gestión urbana del recurso pluvial: aproximación histórica. *Revista de Investigación*, 7(2), 174-187.
- Mouritz, M. (1992). *Sustainable Urban Water Systems. Policy and Professional Praxis*. Perth: Murdoch University.
- Naturstyrelsen. (2012). *Sådan håndterer vi skybrud og regnvand. Handlingsplan for klimasikring af Danmark*. Copenhague: Autor.

- Nelson, V., Moddemeyer, S., y Schwartz, P. (2007). *The Baltimore Charter for Sustainable Water Systems*. Recuperado de <http://sustainablewaterforum.org/baltimore.html>
- Nutsford, D., Pearson, A. L., Kingham, S., y Reitsma, F. (2016). Residential Exposure to Visible Blue Space (But Not Green Space) Associated with Lower Psychological Distress in a Capital City. *Health y Place*, 39, 70-78.
- Observatorio Ambiental de Bogotá. (s. f.). *Precipitación anual PA*. Recuperado de <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=156&v=1>
- Organización de Naciones Unidas [ONU]. (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights*. Nueva York: Autor.
- Peña, C. A., Melgarejo, J., y Prats, D. (2016). El ciclo urbano del agua en Bogotá, Colombia: estado actual y desafíos para la sostenibilidad. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(6), 57-71.
- Peterson, T. C., Heim Jr., R. R., Hirsch, R., Kaiser, D. P., Brooks, H., Diffenbaugh, N. S., ... y Katz, R. W. (2013). Monitoring and Understanding Changes in Heat Waves, Cold Waves, Floods, and Droughts in the United States: State of Knowledge. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(6), 821-834.
- Petrucci, G. (2012). *La diffusion du contrôle à la source des eaux pluviales urbaines. Confrontation des pratiques à la rationalité hydrologique*. (Tesis doctoral inédita). Université Paris-Est., París, Francia.
- Remolina, F. (2011). Figuras municipales de conservación ambiental en Colombia: ¿Áreas protegidas, redes ecológicas o infraestructuras verdes? *Nodo*, 11(6), 65-76.
- Rojas, C. L. (2013, septiembre 12-14). *Water Urbanism in Bogota. Exploring the Interplay between Settlement Patterns and Water Management*. Ponencia presentada en la 14<sup>th</sup> N-Aerus Conferencia, Urban Futures. Multiple Visions, Paths and Constructions?, Enschede, N-Aerus y Gisdeco.
- Rubio-Herrera, G. S., y Guerrero-Padilla, A. M. (2016). Vulnerabilidad en sistemas de agua potable y alcantarillado ante inundaciones en el distrito de Trujillo, Perú. *Rebiol*, 35(2), 19-28.
- Sánchez, L. S., y Caicedo, E. (2003). *Uso del agua lluvia en La Bocana-Buenaventura*. Ponencia presentada en la Conferencia internacional Usos múltiples del agua para la vida y el desarrollo sostenible, Cartagena, Cinara, Universidad del Valle.
- Santiago, J. A., López, M., y López, S. (2008). Tendencias del cambio climático global y los eventos extremos asociados. *Ra Ximhai. Revista de sociedad, cultura y desarrollo sustentable*, 4(3), 625-633.
- Scholes, L., Ellis, B., Revitt, M., Sieker, H., Helm, B., Winger, J., ... y Soutter, M. (2006). *Review of the Adaptability and Sensitivity of Current Stormwater Control Technologies to Extreme Environmental and Socio-Economic Drivers*. Recuperado de <https://goo.gl/XMX314>
- Secretaría Distrital de Ambiente [SDA]. (2011). *Sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN*. Bogotá: Autor.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung. (2010). *Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung. Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung*. Berlín: Autor.

- Shuster, W. D., Lye, D., La Cruz, A., Rhea, L. K., O'Connell, K., y Kelty, A. (2013). Assessment of Residential Rain Barrel Water Quality and Use in Cincinnati, Ohio. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 49(4), 753-765.
- Stockholms stad. (2014). *Dagvattenstrategi Stockholms väg till en hållbar dagvattenhantering*. Estocolmo: Trafikkontoret, Miljöförvaltningen, Stadsbyggnadskontoret, Exploateringskontoret, Stockholm Vatten.
- Svenskt Vatten. (2014). *Publikation 110. Avledning av spill-drän-och dagvatten. Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem*. Estocolmo: Autor.
- Tardin, R. (2006). La ciudad informal. En J. Nogué y J. Romero (orgs.), *Las otras geografías* (pp. 389-404). Valencia: Tirant lo Blanch.
- Thieken, A. H., Bessel, T., Kienzler, S., Kreibich, H., Müller, M., Pisi, S., y Schröter, K. (2016). The Flood of June 2013 in Germany: How Much do We Know about its Impacts? *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHESS)*, 16(6), 1519-1540.
- Van der Hammen, T. (2006). Génesis, evolución y estado actual del patrimonio natural y sociocultural de los humedales de la sabana de Bogotá. En A. Guarnizo y B. Calvachi (eds.), *Los humedales de Bogotá y la sabana* (pp. 17-49). Bogotá: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.
- Viviescas, F. (2006). Bogotá: la ciudad del futuro con los humedales. En A. Guarnizo y B. Calvachi (eds.), *Los humedales de Bogotá y la sabana* (pp. 75-87). Bogotá: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.
- Walsh, C. J., y Kunapo, J. (2009). The Importance of Upland Flow Paths in Determining Urban Effects on Stream Ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, 28(4), 977-990.
- Whelans, C., Maunsell, H. G., y Thompson, P. (1994). *Planning and Management Guidelines for Water Sensitive Urban (Residential) Design*. Perth: Department of Planning and Urban Development of Western Australia.
- Wilby, R., y Keenan, R. (2012). Adapting to Flood Risk under Climate Change. *Progress in Physical Geography*, 36(3), 1-31.
- Wong, T. H. F., Breen, P., y Lloyd, S. (2000). *Water Sensitive Road Design: Design Options for Improving Stormwater Quality of Road Runoff*. Clayton: Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology.
- Wong, T. H. F., y Brown, R. R. (2009). The Water Sensitive City: Principles for Practice. *Water Science and Technology*, 60(3), 673-682.
- Zhang, Z., Cui, B., y Fan, X. (2012). Removal Mechanisms of Heavy Metal Pollution from Urban Runoff in Wetlands. *Frontiers of Earth Science*, 6(4), 433-444.