

ISSN: 1657-0308 (Impresa)
ISSN: 2357-626X (En línea)

18

Vol.

Nro. 2 REVISTA DE ARQUITECTURA



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

Vigilada Mineducación

• Revista de Arquitectura • Vol.18 Nro. 2 julio-diciembre 2016

• pp. 1-136 • ISSN: 1657-0308 • E-ISSN: 2357-626X

• Bogotá, Colombia

Revista de Arquitectura

Resiliencia a inundaciones: nuevo paradigma para el diseño urbano

Luis Fernando Molina-Prieto

Universidad de América, Bogotá (Colombia)

Facultad de Arquitectura

Molina-Prieto, L. (2016). Resiliencia a inundaciones: nuevo paradigma para el diseño urbano. *Revista de Arquitectura*, 18(2), 82-94. doi:10.14718/RevArq.2016.18.2.8



<http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2016.18.2.8>

Arquitecto, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá (Colombia).

A partir de labores adelantadas con entidades públicas y universidades privadas, ha publicado diez libros producto de investigación y 31 artículos en revistas indexadas.

Por su trabajo ha recibido varios reconocimientos. Se destaca el Primer Lugar en el Premio de reportaje sobre biodiversidad 2004, que le fue entregado por International Conservation en Bangkok (Tailandia).

Publicaciones recientes

(2015). *Villapinzón, cuna del río Bogotá*. Bogotá: Municipio de Villa pinzón.

(2015). Sustainable Development & Eco-Roof. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4 (10), 1-16.

(2014). Gestión urbana del recurso pluvial: aproximación histórica. *Revista de Investigaciones*, 7 (2), 174-187.

<http://orcid.org/0000-0002-3039-427X>

lmolinaprieto@gmail.com

Resumen

El artículo aborda la problemática de la vulnerabilidad urbana frente a las inundaciones generadas por el cambio climático; su objetivo es revisar y analizar estrategias y políticas que consoliden ciudades resilientes. La metodología incluyó una búsqueda bibliográfica sistemática en una ventana de observación de veinte años: 1996-2016, y fue ejecutada en seis idiomas. Se presentan cinco estrategias relevantes entre la comunidad científica que han sido aplicadas con éxito en muchas ciudades: techos verdes, tanques para aguas lluvias, superficies urbanas permeables, conducción superficial de aguas lluvias y disposición local de aguas pluviales. Se incluye además, por su potencial y alcances, una política pública: ciudades sensibles al agua. Se concluye en la urgencia de aplicar estas estrategias en las ciudades que aún gestionan sus aguas pluviales por el método tradicional (sumidero y tubo), porque continúan siendo vulnerables frente a los eventos catastróficos que genera el cambio climático.

Palabras clave: cambio climático, sustentabilidad urbana, aguas urbanas, hidrología, resiliencia.

Flood resilience: A new paradigm for urban design

Abstract

The article addresses the problem of urban vulnerability to the floods generated by climate change; its objective is to review and analyze strategies and policies to create resilient cities. The methodology included a systematic bibliographic search in a twenty-year observation window (1996-2016), which was carried out in six languages. The study presents five relevant strategies among the scientific community that have been successfully applied in many cities: green roofs, rainwater tanks, permeable urban surfaces, surface rainwater management, and local stormwater disposal. It also includes, for its potential and scope, a public policy: water sensitive cities. As a conclusion, the article draws attention to the urgency of applying these strategies in cities that still manage their stormwater with the traditional method (drain and pipe), because they remain vulnerable to the catastrophic events generated by climate change.

Key words: Climate change, urban sustainability, urban water, hydrology, resilience.

Recibido: julio 31/2015

Evaluado: julio 01/2016

Aceptado: agosto 03/2016

Introducción

El artículo hace parte de los resultados del proyecto de investigación “Gestión del recurso pluvial y su uso potencial en la planeación del territorio”, avalado y financiado por la Fundación Universidad de América, y que se realiza en el marco del grupo de investigación “Territorio y habitabilidad”. El proyecto, iniciado en enero de 2015, y que se extenderá hasta diciembre de 2020, se enfoca en el manejo estratégico de las aguas pluviales urbanas y su uso como elemento generador y clave para la ordenación territorial y el diseño arquitectónico y urbano. En este artículo se presentan los resultados concernientes a las estrategias y las políticas internacionales para la gestión del recurso pluvial, cuando su objetivo es incrementar la resiliencia a las inundaciones.

El cambio climático —fenómeno global reconocido por la comunidad científica— se asocia con una serie de eventos extremos y devastadores como huracanes, inundaciones o sequías, que generan enormes riesgos para la salud y la vida de los habitantes de las ciudades (Houghton *et al.*, 1996). Las inundaciones causadas por las lluvias y las tormentas, que en las últimas dos décadas y debido al cambio climático han incrementado de manera inusitada su intensidad, son los eventos que afectan con mayor fuerza las zonas urbanas: “Las precipitaciones abundantes y las grandes inundaciones son más numerosas, y los daños —y muy probablemente la intensidad— de las tormentas y los ciclones tropicales han aumentado” (Banco Mundial, 2010, p. 4). Los cuantiosos reportes de inundaciones catastróficas e incontrolables en zonas urbanas incluyen ciudades de Australia (Wilby y Keenan, 2012), Francia (Redaud *et al.*, 2002), Suecia (Göransson, 2013), India (Ranger *et al.*, 2011), Senegal (Wade *et al.*, 2009), México (Santiago Lastra, López Carmona y López Mendoza, 2008), Colombia (Carvajal-Escobar, 2011), Estados Unidos y Tailandia (Heikkila y Huang, 2014), por solo citar unos cuantos países. De modo que el fenómeno de las inundaciones catastróficas se evidencia actualmente en los cinco continentes.

Durante las últimas dos décadas, la política mundial frente al cambio climático se centró casi exclusivamente en estrategias de mitigación¹. No obstante, y ante la gravedad de sus consecuen-

1 La estrategia de “mitigación” más conocida es el compromiso de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera en un 20% respecto a los niveles de 1990. “No obstante, incluso aunque se consiga limitar y, a continuación, reducir las emisiones de GEI en todo el mundo, el planeta necesitará tiempo para recuperarse de los efectos de los gases de efecto invernadero que ya están en la atmósfera. De hecho, vamos a sufrir los impactos del cambio climático durante al menos los próximos 50 años. Tenemos, por tanto, que adoptar medidas para adaptarnos a ellos” (Comisión de las Comunidades Europeas, 2009, p. 3).

cias, la Unión Europea publicó el *Libro Blanco* (2009), marco comunitario para la adaptación a los inevitables efectos del cambio climático:

Ante el cambio climático, se requieren dos tipos de respuestas: en primer lugar, es importante reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), para lo cual deben adoptarse medidas de “mitigación”; en segundo lugar, hay que actuar para hacer frente a sus impactos inevitables, es decir, tomar medidas de “adaptación” (Comisión de las Comunidades Europeas, 2009, p. 3).

Otro conjunto de naciones que ha trazado políticas de adaptación frente a los efectos del cambio climático es el constituido por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), que agrupa 34 países² (OECD, 2013). En Estados Unidos y Australia también se ha comenzado a trabajar —de manera paralela—, en estrategias de mitigación y adaptación para enfrentar el cambio climático. Aunque se puede suponer que son políticas complementarias, investigadores de la Universidad de Massachusetts y la Universidad de Sidney difieren de ello: “En algunos casos, la mitigación y la adaptación son complementarios, pero en otros, esos objetivos políticos pueden entrar en conflicto”³ (Hamin y Curran, 2009, p. 236). En ocasiones, el conflicto surge del uso del suelo. Por ejemplo: en New South Wales (Australia), las políticas de “adaptación” establecidas para la conservación del koala exigen una alta densidad de cobertura de eucalipto. Pero esto hace que los nuevos desarrollos residenciales tengan una densidad muy baja, por lo que sus habitantes deben realizar largos recorridos en automóvil (emitiendo gases de efecto invernadero) para acudir a los centros de servicio y empleo, lo que entra en conflicto con las políticas de “mitigación” que buscan, precisamente, reducir la emisión de dichos gases (Hamin y Curran, 2009).

No obstante, muchos países e innumerables ciudades trabajan actualmente en la formulación de estrategias que fomenten y fortalezcan la resiliencia urbana⁴ en el tema de las inundaciones. En ese escenario de alcance mundial, algunos investigadores proponen un fuerte cambio en la

2 Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Corea, Chile, Dinamarca, Eslovenia, España, Estados Unidos, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Hungría, Islandia, Irlanda, Israel, Italia, Japón, Luxemburgo, México, Nueva Zelanda, Noruega, Polonia, Reino Unido, República Checa, República Eslovaca, Suecia, Suiza y Turquía.

3 “In some cases mitigation and adaptation are complementary but in other cases these policy goals may conflict”. Todas las traducciones incluidas en el presente artículo son del autor.

4 La resiliencia urbana se puede definir como la capacidad de una ciudad para soportar los embates de un evento catastrófico, o para recuperarse con prontitud de sus efectos. El concepto de ciudad resiliente fue propuesto y definido en 2003 por David Godschalk, profesor de la Universidad de Carolina del Norte (Godschalk, 2003; Beatley y Newman, 2013).

visión de la ciudad, que desmantele el modelo tradicional de la gestión del agua pluvial, de modo que se avance hacia nuevos paradigmas para su manejo y se innove en cuanto a soluciones técnicas, socioeconómicas y culturales que contribuyan a la consolidación de esos nuevos paradigmas (Wilby y Keenan, 2012; Ramkissoon, Smith y Kneebone, 2014). Nueva visión que exige la interacción de diversos dominios, servicios y sistemas urbanos, dentro de los que cabe destacar: el ordenamiento territorial, la planificación urbana, el diseño arquitectónico y urbano, además de varias ingenierías (civil, hidráulica, ambiental, sanitaria, entre otras).

De manera reciente han surgido diversas alternativas para que las ciudades se “adapten” a las fuertes e inevitables inundaciones generadas por el cambio climático. El objetivo del artículo es revisar y analizar las nuevas estrategias y políticas de adaptación que fomentan la resiliencia a inundaciones en las ciudades, haciendo énfasis en las que hacen parte el diseño arquitectónico y urbano.

Metodología

A partir del concepto de ciudades resilientes formulado por Godschalk en 2003, y teniendo en cuenta los paradigmas en hidrología urbana más destacados de las últimas décadas, es decir: los “Desarrollos de bajo impacto” utilizados en Estados Unidos, Canadá y Nueva Zelanda que fueron planteados por Barlow, Burrill y Nolfi (1977); la “Gestión descentralizada de las aguas pluviales” aplicada en Alemania desde 1980 (Fletcher et al., 2014); los “Sistemas experimentales de drenaje” japoneses (Fujita, 1984); la “Gestión integrada de las aguas urbanas” y los sistemas de “Control en la fuente”, oriundos de Canadá (Biswas, 1981; Petrucci, 2012); y los “Sistemas urbanos de drenaje sostenible” originarios de Escocia y difundidos a nivel global (CIRIA, 2000); se seleccionaron cinco estrategias urbanas de adaptación al cambio climático: i) techos verdes; ii) tanques para aguas lluvias; iii) superficies urbanas permeables; iv) conducción superficial de aguas lluvias; y v) disposición *in situ* de aguas pluviales. Estas estrategias fueron seleccionadas por dos razones esenciales: en primer lugar, porque fortalecen la resiliencia de las ciudades en el tema de las inundaciones; y en segundo lugar, porque su materialización se realiza a través del diseño arquitectónico y urbano. En otras palabras, las cinco estrategias que se analizan en el artículo tienen un aspecto que les concierne a todas: su aplicación depen-

de y está en manos de arquitectos, diseñadores y planificadores urbanos⁵.

Además, se analizó e incluyó en el artículo una política pública de origen australiano que ha desbordado significativamente los límites de ese país y se está aplicando en otras regiones del planeta: el concepto de *Ciudades sensibles al agua*, en razón de su utilidad en dos sentidos: i) para conocer o reconocer el estado de evolución de una ciudad con respecto al manejo de sus aguas pluviales y sus fuentes hídricas; y ii) para aproximar a los lectores a las múltiples dimensiones que se deben intervenir para abordar el tema de la resiliencia a inundaciones, o cualquier otro objetivo que incluya el manejo adecuado de las aguas urbanas, pues debe ser holístico.

Para la elaboración del artículo se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica sistemática —en una ventana de observación de veinte años: de 1996 a 2016—, y se estudiaron dos tipos de publicaciones: investigaciones y documentos oficiales. Para rastrear los documentos oficiales se usaron los idiomas originales, de modo que la búsqueda se realizó en alemán, danés, francés, inglés, portugués y sueco.

Resultados

Estrategia I. Techos verdes

Los beneficios generados por los techos verdes son numerosos y muy variados: mejoramiento estético del paisaje urbano; moderación del efecto de isla de calor; captura de elementos contaminantes del aire urbano; disponibilidad de espacios de recreación; generación de nuevos empleos (jardineros); regulación de la temperatura en las edificaciones y, por ende, reducción en el consumo energético destinado a calefacción o enfriamiento de espacios interiores; retardación del fuego en casos de incendio; reducción de la radiación electromagnética generada por las telecomunicaciones; mejoramiento de la calidad del aire; reducción del ruido; incremento de la biodiversidad urbana; mejoramiento de la salud pública (al reducir los contaminantes del agua y el

.....
⁵ Cabe aclarar que los nuevos paradigmas de la hidrología urbana a partir de los cuales se realizó la selección de estas cinco estrategias recurren a muchas otras, pero que no están en manos de arquitectos ni diseñadores urbanos, sino que dependen de ingenieros y otros especialistas, como por ejemplo: sistemas de almacenamiento geocelular, estructuras de control de caudales, sistemas de control de caudales, separadores hidrodinámicos, dispositivos de tratamiento de canales, dispositivos de separación, equipos de filtración, dispositivos de infiltración, pozos de absorción, zanjas de infiltración, cuencas de infiltración, cuencas de detención, estanques de retención, entre otros (CIRIA, 2000).

aire urbanos); disponibilidad de espacio para la agricultura urbana e incremento de la seguridad alimentaria; oportunidades de educación como aulas urbanas; y por supuesto, gestión de las aguas pluviales (Green Roofs for Healthy Cities, 2016). Con respecto a este último punto cabe señalar que la capacidad de retención de agua de un techo verde varía, y depende de tres variables: las especies de plantas que lo componen, el sustrato que las soporta, y la intensidad de la lluvia que recibe⁶. No obstante, todos los techos verdes tienen la capacidad de reducir y retardar las escorrentías producidas por la lluvia, disminuyendo la presión sobre los alcantarillados durante los picos del flujo pluvial y mitigando los riesgos de inundación (James y Metternicht, 2013).

Toronto fue la primera ciudad que exigió techos verdes como norma de construcción. El proceso se inició en la década de los noventa, cuando voluntarios del Rooftop Garden Resource Group (RGRG) se dieron a la tarea de promoverlos en la ciudad. Este movimiento emergente se cristalizó poco después en la organización Green Roofs for Healthy Cities⁷, con base en Toronto, que presta asesoría en aspectos técnicos a ciudades de todo el planeta. En 2006, el ayuntamiento de Toronto aprobó una ordenanza para estimular la construcción de techos verdes, que incluía: la instalación de techos verdes demostrativos en edificios de

ciudad⁸; un programa de becas piloto; y campañas publicitarias y educativas. Entre 2008 y 2009, el gobierno de Toronto adelantó dos rondas de consulta pública para socializar la propuesta de exigir techos verdes como norma de construcción. Como resultado de esas rondas, la ciudad estableció en la sección 108 de la legislación urbana⁹ la exigencia de incluir un porcentaje de techo verde para todo proyecto nuevo. La ordenanza se aplicó a permisos de construcción para proyectos residenciales, comerciales e institucionales solicitados después del 31 de enero de 2010; y para proyectos industriales solicitados después del 31 de enero de 2011. El porcentaje de techo verde depende del área total del proyecto, y oscila entre el 20% del área de la cubierta para proyectos menores a cinco mil metros cuadrados, y el 60% para proyectos mayores a veinte mil metros cuadrados construidos (Mitrovic, 2010). Cabe señalar que para las autoridades de Toronto —según el artículo 8, parágrafo 3 del Acto 2006, que es Ley Consolidada Vigente—: “Techo verde significa una superficie de cubierta que soporta el crecimiento de la vegetación sobre una parte sustancial de su área con el propósito de la conservación del agua o de la energía”¹⁰ (City of Toronto, 2006) (Figura 1).

Actualmente, otras tres ciudades han incluido techos verdes como requisito para la expedición de licencias de construcción: Copenhague los vinculó a su legislación urbana desde 2010.

6 Los resultados de van Woert et al. (2005), de la Michigan State University, por ejemplo, evidencian porcentajes de retención que oscilan entre 27,2 y 96,2%, al experimentar en 15 plataformas de techo verde con diversos estratos y plantas de distintas especies, expuestas a eventos de lluvia de cuatro intensidades: tenue, media, fuerte y muy fuerte.

7 Más información en: www.greenroofs.org

8 Disposición semejante al “proyecto demostrativo” de paraderos verdes de Bogotá, que incluye 49 paraderos ubicados en la carrera Séptima entre calles 34 y 70.

9 Section 108 of the City of Toronto Act.

10 “Green roof means a roof surface that supports the growth of vegetation over a substantial portion of its area for the purpose of water conservation or energy conservation”.

Figura 1. Proyecto demostrativo de techos verdes en Bogotá
Fuente: foto del autor.



Recife estableció la Ley de Techos Verdes en enero de 2015, la cual “Dispone sobre la mejoría de la calidad ambiental de las edificaciones por medio de la obligación de la instalación de ‘techos verdes’, y la construcción de reservorios de acumulación o retardo de escorrentías de las aguas pluviales” (Diário Oficial Prefeitura do Recife, 2015)¹¹. París exige techos verdes desde el 9 de marzo de 2016, mediante el artículo 36 del Proyecto de ley “por la reconquista de la biodiversidad, la naturaleza y los paisajes”, que incide en el artículo L. 111-19 del Código de Urbanismo (Assemblée Nationale, 2016). Otras ciudades promueven la construcción de techos verdes a través de tres estrategias: incentivos fiscales, sistemas de financiación para las obras y los proyectos demostrativos¹² (Figura 1). Se destacan en este sentido: Sidney y Melbourne en Australia; Berlín, Dusseldorf, Stuttgart y Múnich en Alemania —con un total de 86 millones de m² de techos verdes—; Shanghái y Beijín en China; Chicago, Nueva York, Portland, Filadelfia, Seattle y Washington en Estados Unidos; Londres en el Reino Unido; Basilea en Suiza; y Singapur en la República de Singapur (Copenhagen, 2012).

Estrategia II. Tanques para aguas lluvias

Otra alternativa es captar y conservar las aguas lluvias para luego utilizarlas en labores domésticas no potables: recarga de sanitarios, riego de jardines y lavado de automóviles. En esa línea de investigación se encuentran los tanques para aguas lluvias, que en el último decenio han cobrado gran importancia como elementos básicos para la producción de arquitectura sostenible y resiliente, especialmente en Australia, Nueva Zelanda y algunos países europeos, como Bélgica y Suiza. Es importante señalar que los tanques, aparte de reducir el impacto de las inundaciones —porque buena parte del agua lluvia es captada, reduciendo los picos de inundación—, aportan resiliencia a la arquitectura porque descentralizan e independizan las edificaciones del acueducto local, de manera que cuentan con agua, y, lo más importante, con la capacidad para acomodarla, aunque el suministro sea suspendido por algún evento catastrófico. Esta estrategia, que retoma el ancestral y milenario concepto de las cisternas, es objeto de estudio en muchas regiones del mundo.

En Europa, investigadores de la Lund University de Suecia y la Sheffield Hallan Univer-

sity del Reino Unido, analizaron y valoraron la recolección de agua lluvia para uso doméstico en la ciudad de Ringdansen, Suecia, y mediante modelación por computador establecieron el potencial de ahorro de agua en la ciudad que esto generó (Villareal y Dixon, 2005). Por su parte Fewkes, investigador de The Nottingham Trent University, instaló un sistema de recolección de agua lluvia en una casa del Reino Unido, y realizó un test con el fin de aclarar cuáles son las variables involucradas en este tipo de sistemas, como el área de la cubierta de captación y la capacidad del depósito, entre otras variables (Fewkes, 1999). En Alemania, investigadores de la Universidad de Berlín examinan la posibilidad de aprovechar aguas pluviales en zonas densamente pobladas, incluyendo las escorrentías que se generan en las superficies destinadas al tránsito vehicular (Nolde, 2007). Por su parte, investigadores de la Universidad de Hamburgo enfocan su labor en la descentralización del servicio de acueducto, con el objetivo de reducir los costos del transporte del agua, puesto que el recurso pluvial se acopia *in situ* (Herrmann y Schmida, 2000). En Dinamarca, investigadores de la Technical University of Denmark realizan estudios microbiológicos del agua lluvia colectada en las cubiertas de los edificios, para la descarga de sanitarios (Albrechtsen, 2002). En Berna, Suiza, la Oficina Federal del Ambiente, los Bosques y el Paisaje (OFEFP, por sus siglas en francés) publicó en 2002 el *Analyse du cycle d'approvisionnement de l'eau et récupération d'eau de pluie*¹³, documento que presenta resultados de un proyecto de investigación inscrito en la problemática de la gestión de los recursos y el agua potable, donde se ponen de relieve los diversos beneficios ambientales y económicos que genera el uso del agua lluvia para recargar sanitarios, sugiriendo además que se capten y aprovechen las aguas pluviales a gran escala (OFEFP, 2002). Estudios similares se han desarrollado recientemente en España (Domènec, March y Saurí, 2013), Irlanda (Li, Boyle y Reinolds, 2010), Italia (Campisano y Modica, 2012) y Polonia (Slys, 2009).

En Queensland —región noreste de Australia—, la University of Queensland y la Griffith University, en asocio con el gobierno local, establecieron en 2007 la Urban Water Security Research Alliance. Los asociados publican anualmente un reporte (disponible en su página web) que incluye análisis y estadísticas de cuatro de sus áreas urbanas más importantes: Gold Coast, Brisbane, Ipswich y Sunshine Coast. Los reportes de 2012 (Urban Water Security Research Alliance) y 2011 (Beal y Stewart), destacan dos grandes

11 “Dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do ‘telhado verde’, e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais”.

12 Proyectos que permiten a la ciudadanía observar y familiarizarse con los techos verdes, al tiempo que se ejecutan, *in situ*, una serie de valoraciones concernientes a su comportamiento, desempeño y eficiencia.

13 Análisis del ciclo de suministro de agua y la recuperación del agua lluvia.

beneficios generados por el uso de los tanques de agua lluvia —instalados entre 2007 y 2012 en cerca de 300.000 hogares—: i) la descentralización de la red del acueducto local, y ii) la gran reducción de los consumos de agua potable, que se estiman en un 33 % del consumo por hogar. Por su parte, Zhang et al. (2009b) demostraron con su investigación, realizada en cuatro ciudades australianas, la viabilidad del uso de agua lluvia en edificios residenciales en altura. Concluyeron que si bien el recurso pluvial es aprovechable en las cuatro ciudades, resulta más adecuado en Sidney, seguido por Perth, Darwin, y finalmente Melbourne, lo que obedece a los diversos regímenes de lluvia locales. En Canadá, el Código de Construcción de Quebec exige para toda edificación un colector de aguas lluvias que debe estar conectado a un tanque de aguas pluviales o a un foso de retención. Esta normativa urbana surgió en Quebec, pero actualmente se impone en todo el país a través de las *Modificaciones de Quebec aplicables al Código Nacional de la Plomería de Canadá 2010*, que entró en vigencia en 2014 (Régie du bâtiment Québec, 2014).

Finalmente, cabe subrayar que en África, investigadores nigerianos trabajan por fomentar la recolección de aguas lluvias con fines domésticos, concluyendo que el recurso pluvial en el sureste de Nigeria cubre la demanda de agua para las descargas de sanitarios y el lavado de ropa durante ocho meses del año, siendo insuficiente de noviembre a febrero (Aladenoia y Adeboye, 2010). En África, además, se investiga el potencial pluvial como recurso hídrico para las ciudades de Zambia (Handia, Tembo y Mwiindwa, 2003); mientras que en Medio Oriente y en Asia se están realizando investigaciones centradas en el aprovechamiento del recurso pluvial en Siria (Mourad y Berndtsson, 2011), Malasia (Lau et al., 2005), Japón (Hu, Takara y Zhang, 2013), Corea del Sur (Kim et al., 2010) y China (Zhang et al., 2009a).

Estrategia III. Superficies urbanas permeables

Uno de los factores urbanos que potencializa las inundaciones en las ciudades es la impermeabilización del suelo. Las superficies duras destinadas a la red vial vehicular, las plazas y plazoletas, el sistema de andenes, las rutas peatonales, las zonas de rodamiento de bicicletas y los parqueaderos, se han construido tradicionalmente en concreto, asfalto o adoquín, todos ellos impermeables.

El crecimiento de las ciudades propagó de manera ilimitada ese tipo de superficies, generando inmensos bloqueos al agua lluvia, impidiéndole su percolación y, por ende, interrumpiendo

el ciclo natural del agua. En consecuencia, bajo las zonas urbanizadas el manto acuífero perdió su nivel o se desecó, afectando el equilibrio hídrico de grandes territorios. Como resultado, los manantiales se deterioraron, redujeron su caudal o se secaron definitivamente. Para dar respuesta a esa grave problemática, que afecta tanto a las ciudades como a los ecosistemas, algunas entidades y un amplio grupo de investigadores están enfocados en incrementar las superficies urbanas permeables, estrategia que reduce exponencialmente los riesgos de inundación y actúa a favor de la restauración o rehabilitación del ciclo del agua en las grandes ciudades y, por tanto, hace grandes aportes a la resiliencia y la sostenibilidad urbanas (Fassman y Blackbourn, 2010; Wolf, Klinger, Hoetzl y Mohrlok, 2007).

Se trabaja en dos líneas de investigación bien definidas. Por un lado, el uso de materiales de última generación: concretos, asfaltos y adoquines porosos o permeables (Lucke y Beechman,



Figura 2. Superficies urbanas permeables en Bogotá
Fuente: foto del autor.



2013), los cuales son actualmente recomendados por los gobiernos de algunas ciudades para la construcción de las zonas duras de sus espacios públicos. Por otro lado, se diseñan una serie de nuevos elementos que acopian, retienen y permiten la percolación de las aguas pluviales en el espacio público —zanjas y fosos, microcuencas urbanas, sistemas de biorretención¹⁴, entre otros—, que se han erigido como nuevos componentes del diseño urbano (Figura 2). En consecuencia, algunas ciudades han empezado a establecer diseños urbanos detallados con el objetivo de gestionar sus aguas pluviales, y el recurso pluvial se está consolidando como nueva determinante estratégica para la conformación del paisaje urbano. En ese sentido, son varias las ciudades que han elaborado diseños y fichas técnicas detalladas, e intentan vincular esos diseños a sus lineamientos de planificación urbana. Filadelfia está a la vanguardia en ese tema, pues cuenta con un manual¹⁵ para el diseño de sus vías peatonales y vehiculares en el cual se presentan *renders* y planos detallados de andenes, esquinas, separadores y otros espacios públicos —típicos de cualquier ciudad—, que incluyen dos elementos muy innovadores: espacios para el acopio y la conducción del agua lluvia hacia el subsuelo, y presencia de árboles y vegetación estrechamente ligados a esos diseños, cuya función es actuar como sistemas de biorretención (PWD, 2014). Otras ciudades que cuentan con manuales que vinculan las aguas pluviales al diseño urbano —recurriendo a superficies urbanas permeables—, son Melbourne (Melbourne Water, 2009); Queensland (Australian Government, 2006), Quebec (Quebec, 2014), Rotterdam (Gemeente Rotterdam, 2011), Cambridge (Wilson *et al.*, 2010), Tokio y otras ciudades japonesas (Fujita, 1984), Estocolmo (Stockholms stad, 2014), junto con la mayor parte de las ciudades suecas, y Copenhague (Størvring, 2012) y las principales ciudades de Dinamarca.

Estrategia IV. Conducción superficial de aguas lluvias

Esta estrategia se fundamenta en un fenómeno bien comprobado: las inundaciones urbanas se producen por el rebosamiento de las tuberías en momentos de alta pluviosidad, sea porque el caudal de las aguas desborda su capacidad, o porque las basuras, el granizo o el hielo taponan los sumideros y las tuberías tornando inútil el sis-

tema. Esta propuesta retoma lo natural e intenta rescatar, rehabilitar o restaurar los cursos y cuerpos de agua urbanos deteriorados, o crearlos de manera artificial, y se justifica por dos motivos. El primero es de carácter técnico: las investigaciones han demostrado que la “capacidad de un dique a cielo abierto con débil pendiente lateral es casi diez veces mayor a la de una tubería con la misma altura de llenado”¹⁶ (Svenskt Vatten, 2016, p. 36); mientras que el segundo es de marcado acento estético: al no ocultar las aguas pluviales en tuberías subterráneas se cuenta con elementos de alto valor paisajístico en las ciudades, como quebradas, ríos, lagos y lagunas, que son fuente de bienestar físico y psicológico para los seres humanos (Foley y Kistemann, 2015), además de constituir elementos clave para el diseño urbano y el ordenamiento territorial.

Esta propuesta desecha el obsoleto y caduco paradigma para la gestión de aguas pluviales del siglo XX —los sumideros superficiales y las tuberías subterráneas— que ocultaban el agua e intentaban expulsarla de las ciudades de forma expedita. Por el contrario, lo que busca es integrarlas al espacio urbano, ralentizando su dinámica, enriqueciendo el paisaje urbano y generando espacios públicos adecuados para la recreación, el esparcimiento y el solaz, al tiempo que se oferta una amplia variedad de servicios ambientales de alto valor para la conservación de la biodiversidad. Su esencia se resume en una frase de los expertos suecos que la proponen para Estocolmo: “El camino del agua puede hacerse hermoso”¹⁷ (Stockholms Stad, 2001, p. 6). Cabe subrayar que este enfoque exige la participación activa de los diseñadores, tanto urbanos como arquitectónicos: “Una buena planificación y el diseño de los nuevos edificios, teniendo en cuenta el agua, es crucial para el éxito de la gestión sostenible”¹⁸ (p. 6).

Actualmente son numerosas las ciudades que trabajan por la rehabilitación de sus cuencas, al tiempo que establecen sistemas superficiales para el acopio y la conducción de las aguas lluvias. A este respecto son destacables nueve proyectos realizados en ciudades de Noruega, Suecia, Holanda, Dinamarca y Alemania, en los que se han explorado alternativas muy creativas para la gestión superficial de las aguas lluvias. Se trata de diseños multifuncionales, como por ejemplo: prolongadas y serpenteantes pistas de skate que recorren extensas áreas urbanas las

14 Los sistemas de biorretención son depresiones poco profundas en el paisaje urbano diseñadas para acopiar y tratar las aguas pluviales. Son biológicamente activos gracias a la presencia de densa vegetación que colabora en la gestión del agua (consumo por parte de las plantas + evapotranspiración) y su purificación (Water by Design, 2014).

15 Información completa en: www.phillywatersheds.org/img/GSDM/GSDM_FINAL_20140211.pdf

16 “Kapaciteten för svackdiken med svag släntlutning är nästan tio gånger större än för en rörledning vid samma fyllnadshöjd”.

17 “Vattnets väg kan göras vacker”.

18 “En god planering och utformning av ny bebyggelse, med hänsyn tagen till vattnet, är avgörande för att lyckas med den hållbara hanteringen”.

cuales, durante los picos de lluvia, actúan como cuencas artificiales que contienen y conducen grandes volúmenes de aguas pluviales; o canchas múltiples (de baloncesto y otros deportes) que en tiempo seco se usan para dichos deportes, pero que en tiempos lluviosos se anegan —porque están diseñadas para eso presisamente— generando estanques artificiales temporales que contienen enormes volúmenes de agua lluvia¹⁹ (Ministeriet for By, 2013). En ocasiones, la conducción superficial se combina con sistemas de biorretención, de manera que el agua es gestionada de cuatro maneras: i) una parte la consumen las plantas; ii) otra es evapotranspirada por las plantas; iii) buena parte se evapora; y iv) la porción restante es conducida hasta un cuerpo de agua natural. Finalmente, cabe decir que las plantas realizan procesos de descontaminación, por lo que las aguas pluviales que se descargan al final del ciclo están purificadas en buena medida.

Estrategia V. Disposición *in situ* de aguas pluviales

En Europa, cuatro países y una región han elevado esta estrategia a normativa urbana. En Dinamarca se estableció el Lokal Afledning af Regnvand (LAR) (drenaje local del agua lluvia), mientras que en Suecia se impuso la Lokalt Omhändertagande av Dagvatten (LOD) (disposición local de aguas lluvias). LAR y LOD son siglas que corresponden a dos idiomas distintos, pero que entrañan una misma y única idea: cada predio, lote o parcela debe gestionar sus aguas pluviales *in situ*. O sea que gran parte de las aguas pluviales urbanas se gestiona en suelos de propiedad privada, y esa gestión es responsabilidad exclusiva de sus propietarios.

Las autoridades de las ciudades danesas y suecas exigen que los proyectos, sean arquitectónicos o urbanos, cuenten con los sistemas necesarios para la gestión *in situ* del recurso pluvial. Así, se evitan excedentes en el sistema y el volumen de las escorrentías pluviales se minimiza significativamente. Para lograr tales objetivos, en Copenhague se admiten tres alternativas: generar superficies permeables en los proyectos que permitan que el agua lluvia se infiltre al subsuelo directamente en la parcela; ralentizarla o retenerla mediante techos verdes; y almacenarla en tanques para aguas lluvias con el fin de usarla posteriormente en labores domésticas no potables. En Estocolmo se manejan estrategias similares, aunque con algunas variaciones. Estas políticas públicas, además de suprimir las escorrentías y, en consecuencia, minimizar el riesgo

de inundación, logran otros objetivos: i) reducen la carga de los sistemas de alcantarillado; ii) disminuyen el volumen de residuos líquidos que llega a las plantas de tratamiento; iii) contribuyen en la conservación del nivel freático; y iv) reducen el índice de impermeabilización del suelo, mejorando el drenaje, la percolación y la infiltración de las aguas lluvias al subsuelo, y fortaleciendo el ciclo natural del agua (Stockholms stad, 2014; Bergen, Backhaus, Fryd y Dam, 2010).

En Bélgica sucede algo similar. El *Règlement Régional d'Urbanisme*²⁰ cuenta con algunos artículos dedicados exclusivamente a las aguas pluviales urbanas, que al igual que en Dinamarca y Suecia, imponen normativas de estricto cumplimiento para regular con precisión su gestión *in situ*. Ejemplo de lo anterior es el artículo 16:

La escorrentía de aguas pluviales generada por todas las superficies impermeables debe ser recogida y llevada a un tanque, un campo de infiltración o en su defecto, al sistema de alcantarillado público. En el caso de nuevas construcciones, se impone la instalación de un tanque, con el fin de evitar la sobrecarga del sistema de alcantarillado. El tamaño mínimo de este tanque es de 33 litros por m² de superficie de cubierta²¹ (Région de Bruxelles-Capitale, 2006, p. 21).

En Francia, la región del Grand Lyon maneja una política de aguas pluviales independiente y distinta a la del resto del país. Esto obedece a que Lyon hace parte —junto con otras nueve urbes europeas²²— del proyecto Aqua-ADD, cuyo objetivo es valorar las aguas pluviales (y otras aguas urbanas) para otorgarles el estatus de determinantes fundamentales para el diseño de las ciudades. Por tanto, el *Règlements D'assainissement du Service Public* de la comunidad urbana de Lyon, que rige desde el 2004, especifica en sus artículos 22, 23 y 34 la obligación del propietario de cada predio de gestionar las aguas pluviales que le corresponden; las condiciones para admitir en la red pública alguna porción de las aguas pluviales; y el control que la administración local realizará a los diseños con el fin de proteger la red pública de descargas pluviales no autorizadas. Estos artículos indican claramente que la gestión de las aguas pluviales debe ser enteramente resuelta por el diseñador de cada

.....
20 Decreto del Gobierno de la Región de Bruselas-Capital, del 21 de noviembre de 2006.

21 “Article 16 Collecte des eaux pluviales: Les eaux pluviales de ruissellement issues de toutes les surfaces imperméables sont récoltées et conduites vers une citerne, un terrain d'épandage ou à défaut, vers le réseau d'égouts public. Dans le cas d'une nouvelle construction, la pose d'une citerne est imposée afin notamment d'éviter une surcharge du réseau d'égouts. Cette citerne a les dimensions minimales de 33 litres par m² de surface de toitures en projection horizontale”.

22 Eindhoven (Holanda); Trans-Tisza región (Hungría); Debrecen (Hungría); Imperia (Italia); Genoa (Italia); Bremerhaven (Alemania); Copenhagen (Dinamarca); Sofía (Bulgaria); Aveiro (Portugal).

.....
19 Información completa en: http://mbbl.dk/sites/mbbl.dk/files/dokumenter/publikationer/regnvand_i_byen_screen.pdf

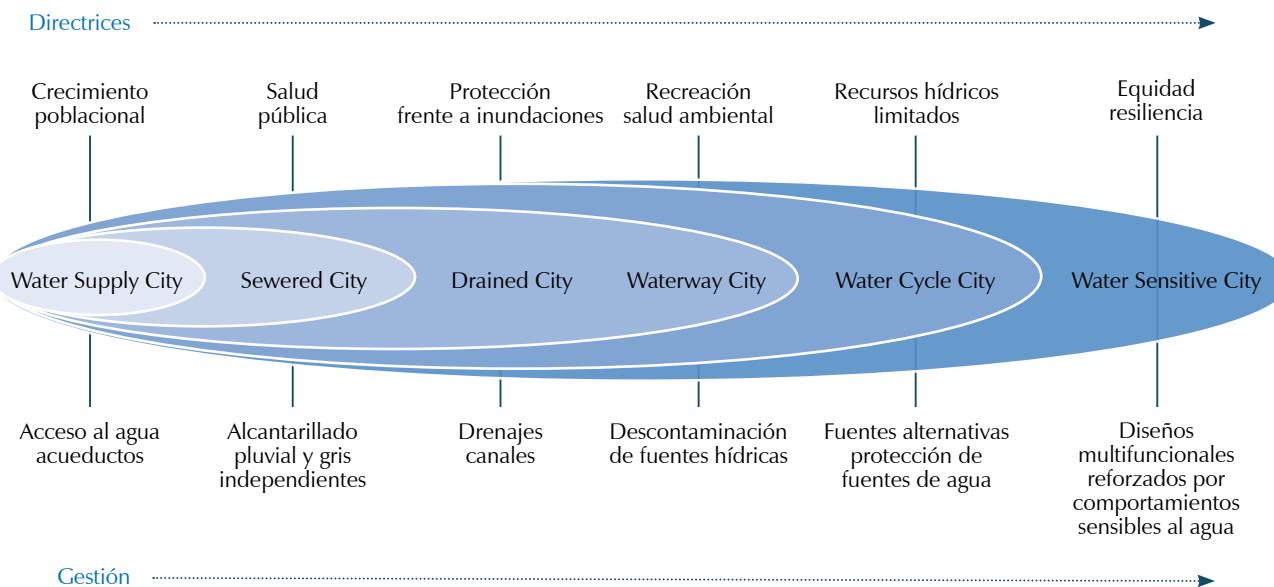


Figura 3. Evolución de las ciudades a partir de la gestión de las aguas urbanas

Fuente: adaptado de Brown, Keath y Wong (2009, p. 5).

proyecto, y que está prohibida su descarga en el sistema de alcantarillado (Direction de l'eau Grand Lyon, 2012).

Finalmente, cabe destacar la legislación suiza de aguas pluviales, puesto que no surgió en la última década, como en Suecia, Dinamarca, Bélgica o el Grand Lyon, sino que se remonta a mediados del siglo pasado. La Loi sur les eaux, por ejemplo, entró en vigor en 1961; la Loi fédérale sur la protection des eaux, en 1991, y la Ordonnance sur la protection des eaux, en 1998. Otra particularidad propia de estas tres leyes es su amplia visión, pues además de exigir la gestión *in situ* de las aguas pluviales —como el LOD danés y el LAR sueco—, recomiendan su integración como elemento clave para el diseño del paisaje de la ciudad. Una legislación que exige al arquitecto establecer áreas permeables en cada proyecto, que permitan la percolación e infiltración de las escorrentías pluviales al subsuelo. Si las áreas de infiltración son insuficientes, se debe contar con tanques para aguas lluvias que las retengan (Conseil Fédéral Suisse, 2015; Assemblée Fédérale de la Confédération Suisse, 1991; République et Canton de Genève, 2005).

Política pública australiana: Ciudades Sensibles al Agua

El concepto de Water Sensitive City²³ abarca facetas que rebasan las estrategias concernientes al control de las inundaciones, pues incluye factores sociales, educativos, culturales, económicos, ambientales, legislativos, de gobernanza, de buenas prácticas comunitarias, de diseño urbano, de diseño hidráulico, de planificación urbana, de bioingeniería, tecnológicos, industriales y de tecnologías de la información, entre otros.

Este paradigma en gestación —originario de Australia— es producto de investigaciones adelantadas por el Gobierno de ese país, con el respaldo de un grupo de investigadores de la Monash University, y fue mencionado por primera vez y de manera oficial en la Australian Commonwealth's National Water Initiative (COAG, 2004), donde se estableció como meta para las ciudades australianas en el tema de gestión de aguas urbanas.

La Water Sensitive City surgió bajo un enfoque apartado del tradicional manejo de las aguas pluviales urbanas —sumideros superficiales y tuberías subterráneas, e intentó desde sus orígenes dar respuesta a tres problemas que afrontan las ciudades de ese país y de otras regiones del mundo: i) inundaciones catastróficas producto del cambio climático; ii) contaminación incontrolada de las fuentes de agua; y iii) necesidad de acceso al agua por parte de una población urbana en fuerte y constante crecimiento (McCallum, 2014). Problemáticas a las que responde un concepto que se considera actualmente esencial para la sostenibilidad urbana: la resiliencia de las ciudades en el tema del agua (Adger, 2006), el cual se involucró en la Water Sensitive City desde sus orígenes.

Brown, Keath y Wong (2009) plantean la transición de las urbes australianas —en términos de la gestión del agua—, como un proceso constituido por seis estados que permiten observar una evolución, desde la precariedad hídrica e hidráulica, hasta la sustentabilidad y la resiliencia urbanas (Figura 3).

- Primer estado: Water Supply City (Ciudad que suministra agua). El acueducto distribuye agua a los ciudadanos. Alcanzado en las primeras décadas del siglo XIX.

23 En adelante se alude al concepto en su idioma original: Water Sensitive City.

- Segundo estado: *Sewered City* (Ciudad sumidero). El alcantarillado mejora el saneamiento y la salud pública de las ciudades. Alcanzado a mediados del siglo XIX.
- Tercer estado: *Drained City* (Ciudad drenaje). La canalización y el drenaje de las aguas pluviales protege a las ciudades de las inundaciones. Alcanzado tras la Segunda Guerra Mundial.
- Cuarto estado: *Waterways City* (Ciudad de las vías del agua). Los movimientos ambientalistas de las décadas de los setenta y ochenta denuncian la contaminación de las fuentes de agua, y se generan políticas públicas para remediar esa situación. Alcanzado actualmente en algunas ciudades australianas, pero no en todas.
- Quinto estado: *Water Cycle City* (Ciudad del ciclo del agua). Al reconocer la finitud de los recursos hídricos, esta ciudad trabaja por la sostenibilidad a largo plazo de las fuentes de agua superficiales y subterráneas. Estado que aún no han alcanzado las ciudades australianas ni de otros países.
- Sexto estado: *Water Sensitive City* (Ciudad sensible al agua). Busca la resiliencia urbana frente a las inundaciones y el abastecimiento de agua en ciudades densamente pobladas, además de la equidad intergeneracional en cuanto a acceso al agua. Estado que se espera alcanzar en poco tiempo gracias a las investigaciones que promueve el Gobierno australiano.

Pese a la evolución, complejidad y profundización que el concepto de Water Sensitive City ha alcanzado, se mantiene sobre los pilares básicos que le dieron origen: i) las ciudades deben planificarse como cuencas que permitan el acceso de la población a diversas fuentes hídricas, en un escenario de infraestructuras centralizadas y descentralizadas que faciliten el suministro de agua a muy diversas escalas; ii) las ciudades deben proporcionar servicios a los ecosistemas, es decir: lo construido debe reforzar las funciones de los ambientes naturales; y iii) las ciudades deben generar comunidades “sensibles al agua”, que sean la base sociopolítica para la toma de decisiones, al tiempo que adoptan comportamientos orientados al cuidado del agua (Floyd, Iaquinto, Ison y Collins, 2014). Pilares que conservan las investigaciones que coordina actualmente la Cooperative Research Centre for Water

Sensitive Cities (CRCWSC), entidad fundada en 2012 por el Gobierno de Australia con el fin de acelerar la transición de sus ciudades al estado de Water Sensitive City, de la que hacen parte instituciones oficiales, académicas e industriales de varios países, como Monash University, University of Western Australia, Griffith University, University of Adelaide, University of Queensland, UNESCO-IHE, Flood Resilience Group, Becas Chile, American Australian Association, entre otros (CRCWSC, 2015).

Discusión

Las ciudades contemporáneas requieren de nuevas estrategias para su sostenibilidad y resiliencia. En el campo del control de inundaciones, el cambio de estrategias es urgente e inaplazable. Gran parte de las urbes de nuestro tiempo —entre ellas todas las colombianas— gestionan sus aguas pluviales de acuerdo con conceptos que tienen más de un siglo de antigüedad, como las soluciones “al final del tubo” o la contención de las inundaciones “aguas abajo”, cuando, por su volumen, son incontrolables. Esto sucede porque dependen de un sistema caduco, obsoleto e inoperante que se basa en “el sumidero y el tubo”. Otra característica del sistema convencional de drenaje es su centralidad, su dependencia de la administración local, regional o nacional, que puede ser buena, regular o incompetente. En este contexto, la resiliencia requerida por las ciudades del siglo XXI, que estarán inevitablemente expuestas a los devastadores efectos del cambio climático por más de medio siglo (Comisión de las Comunidades Europeas, 2009), requiere de soluciones prontas, nuevas, distintas, innovadoras y descentralizadas, que deben surgir, al menos en parte, de quienes tienen en sus manos la construcción de las ciudades, en pocas palabras: los arquitectos y los diseñadores urbanos. Para que las ciudades lleguen a ser verdaderamente resilientes frente a las inundaciones es crucial que estos profesionales participen activamente en la gestión del recurso pluvial, que asuman una responsabilidad vinculada al diseño arquitectónico y urbano, aplicando para ello, en todos los proyectos que realicen —incluso en los que ejecuten en el ámbito académico—, las cinco estrategias aquí analizadas. No sobra decir que estas estrategias pueden aplicarse tanto a proyectos arquitectónicos como a proyectos urbanos y, además, que se pueden incluir como parte de un diseño de manera individual o combinada, puesto que todas ellas son plenamente compatibles (Tabla 1).

Estrategia	Aplicabilidad	
	Por diseño arquitectónico	Por diseño urbano
Techos verdes	En todo tipo de proyecto arquitectónico, especialmente en los que cuenten con cubiertas planas, aunque también se pueden instalar en cubiertas inclinadas.	En paraderos, estaciones y terminales de sistemas de movilidad, como metro, tranvía o Bus Rapid Transit.
Tanques para aguas lluvias	En muros y entrepisos azules, lo que permite que el sistema de agua pluvial de la edificación funcione por gravedad y no consuma ningún tipo de energía.	En cisternas urbanas instaladas en parques urbanos, para que las aguas colectadas en tiempo lluvioso sirvan para el riego en temporadas secas. En cisternas comunitarias de conjuntos de vivienda, para usos comunitarios no potables (riego, lavado de pisos o fachadas, etc.).
Superficies urbanas permeables	En zonas verdes, jardines, parqueos y zonas de circulación a cielo abierto, tanto privadas como públicas, de cualquier tipo de proyecto arquitectónico.	En zonas verdes, jardines, plazas, plazoletas, parqueos y zonas de circulación a cielo abierto de cualquier tipo de proyecto urbano.
Conducción superficial de aguas lluvias	En los espacios a cielo abierto de agrupaciones de vivienda y equipamientos zonales o metropolitanos. Conducción que bien puede concluir en un sistema de acopio o almacenamiento.	En los espacios a cielo abierto de cualquier tipo de proyecto urbano (parques, plazas, malecones, parques lineales, avenidas, etc.). Conducción que bien puede concluir en un sistema de acopio o almacenamiento.
Disposición <i>in situ</i> de aguas pluviales	Con la aplicación, de manera individual o combinada, de las cuatro estrategias anteriores, en cualquier edificación.	Con la aplicación, de manera individual o combinada, de las cuatro estrategias anteriores, en cualquier proyecto urbano.

 Tabla 1. Estrategias para la gestión sustentable del recurso pluvial y campos de aplicación

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Teniendo en cuenta que actualmente muchas ciudades están expuestas a las inundaciones catastróficas generadas por el cambio climático, y que por su sistema de drenaje convencional son altamente vulnerables, se realizó una revisión sistemática y multilingüe de la literatura con el objetivo de identificar estrategias y políticas públicas en el ámbito internacional, que mitiguen la vulnerabilidad urbana en tanto fortalecen la sustentabilidad y la resiliencia. Luego de estudiar los nuevos paradigmas en hidrología urbana más destacados de las últimas décadas se seleccionaron cinco estrategias de adaptación al cambio climático que cumplen con esos requerimientos y que, además, han sido aplicadas con éxito por arquitectos y diseñadores urbanos, en numerosas ciudades y países (Tabla 2).

El artículo pone de relieve los beneficios hidrológicos, ambientales, psicológicos, climáticos, biológicos, ecológicos y estéticos que aportan esas cinco estrategias y, además, analiza una política pública: la Water Sensitive City, por conformar un entramado sólido y coherente que, aparte de abarcar las cinco estrategias mencionadas, comprende otra serie de objetivos de gran relevancia para alcanzar la resiliencia urbana, como los sociales, los culturales, los tecnológicos, los normativos, los fiscales y los de diseño.

Por último, se recomienda a arquitectos y diseñadores urbanos vincular la gestión de las aguas pluviales a sus proyectos, especialmente en las ciudades que aún lo hacen por el método convencional de sumidero y tubo, ya que con ese sistema obsoleto, los habitantes de esas ciudades continúan siendo altamente vulnerables a las inundaciones y a sus desastrosos efectos.

Ciudades (y países) que las han adoptado como normativa o como elementos de diseño y planificación urbana	Techos verdes	Tanques para aguas lluvias	Superficies urbanas permeables	Conducción superficial de aguas lluvias	Disposición <i>in situ</i> de aguas pluviales
Toronto					
Copenhague					
Recife					
París					
Sidney					
Melbourne					
Berlín	Canadá			Noruega	Suecia
Dusseldorf	Australia			Suecia	Dinamarca
Stuttgart	Nueva Zelanda			Holanda	Bélgica
Munich	Bélgica			Dinamarca	Suiza
Shanghái	Grand Lyon			Alemania	Grand Lyon
Beijin				Japón	Japón
Chicago					
Nueva York					
Portland					
Filadelfia					
Seattle					

Tabla 2. Estrategias que fortalecen la resiliencia a inundaciones y ciudades (o países) que ya las aplican

Fuente: elaboración propia.

Referencias

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268-281. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006
- Aladenio, O. O. y Adeboye, O. (2010). Assessing the potential for rainwater harvesting. *Water Resources Management*, 24(10), 2129-2137. doi: 10.1007/s11269-009-9542-y
- Albrechtsen, H. J. (2002). Microbiological investigations of rainwater and graywater collected for toilet flushing. *Water Science and Technology*, 46(6-7), 311-316. Recuperado de <http://wst.iwaponline.com/content/46/6-7/311.abstract>
- Assemblée Fédérale de la Confédération Suisse (1991). *Loi fédérale sur la protection des eaux*. Recuperado de <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19910022/index.html>
- Assemblée Nationale [de la France] (2016). *Au nom de la commission du développement durable et de l'aménagement du territoire sur le projet de loi, modifié par le Sénat, pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages* (3442). Recuperado de <http://www.assemblee-nationale.fr/14/rapports/r3564-t1.asp>
- Australian Government (2006). *Water Sensitive Urban Design. Technical Design Guidelines for South East Queensland*. Queensland: Australian Government. Recuperado de http://healthywaterways.org/u/lib/mob/20141014090250_41ccddcaad6297103/2006_wsudtechdesignguidelines-4mb.pdf
- Banco Mundial (2010). *Informe sobre el desarrollo mundial 2010. Desarrollo y cambio climático*. Washington: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial.
- Barlow, D., Burrill, G. y Nolfi, J. (1977). *A research report on developing a community level natural resource inventory system*. Vermont: Center for Studies in Food Self-Sufficiency.
- Beal, C. y Stewart, R. (2011). *South East Queensland Residential End Use Study: Final Report*. Gold Coast: Urban Water Security Research Alliance.
- Beatley, T. y Newman, P. (2013). Biophilic cities are sustainable, resilient cities. *Sustainability*, 5(8), 3328-3345. doi:10.3390/su5083328
- Bergen Jensen, M.A., Backhaus, A., Fryd, O. y Dam, T. (2010). Landskabsbaseret regnvandshåndtering i København. *Vand & Jord*, 4, 123-127. Recuperado de <http://www.vandog-jord.dk/artikler/vj410-landskabregnvandht-124.pdf>
- Biswas, A. K. (1981). Integrated water management: Some international dimensions. *Journal of Hydrology*, 51 (1), 369-379. doi: 10.1016/0022-1694(81)90145-1
- Brown, R., Keath, N. y Wong, T. (2009). *Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transition States*. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK.
- Campisano, A. y Modica, C. (2012). Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, 63, 9-16. doi: 10.1016/j.resconrec.2012.03.007
- Carvajal-Escobar, Y. (2011). Inundaciones en Colombia. ¿Estamos preparados para enfrentar la variabilidad y el cambio climático? *Revista Memorias*, 9(16), 105-119. Recuperado de <http://revistas.ucc.edu.co/index.php/me/article/view/140/141>
- CIRIA (2000). *Sustainable Urban Drainage Systems: Design Manual for Scotland and Northern Ireland*. London: Construction Industry Research and Information Association.
- City of Toronto (2006). *City of Toronto Act, 2006, c. 11, Sched. A, s. 108 (3)*. Recuperado de <https://www.ontario.ca/laws/statute/06c11#BK135>
- COAG-Council of Australian Governments (2004). *Intergovernmental Agreement on a National Water Initiative, Commonwealth of Australia and the Governments of New South Wales, Victoria, Queensland, South Australia, the Australian Capital Territory and the Northern Territory*. Recuperado de <http://www.water.wa.gov.au/PublicationStore/first/82387.pdf>
- Comisión de las Comunidades Europeas (2009). *Libro Blanco. Adaptación al cambio climático: hacia un marco europeo de actuación*. Bruselas: Comisión de las Comunidades Europeas.
- Conseil Fédéral Suisse (2015). *Ordonnance sur la protection des eaux-OEaux*. Recuperado de <https://www.admin.ch/opc/fr/official-compilation/2015/4791.pdf>
- Copenhagen (2012). *Green Roofs Copenhagen*. Copenhagen: københavns kommune. Recuperado de <https://www.kk.dk/files/green-roofs-copenhagenpdf/download>
- Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities (CRCWSC) (2015). *Research 2012 to 2016*. Clayton: CRCWSC.
- Diário Oficial Prefeitura do Recife, Brasil. (2015). Lei Nº 18112 DE 12/01/2015. Recuperado de <https://www.legisweb.com.br/legisacao/?id=280138>
- Direction de l'eau Grand Lyon (2012). *Règlements D'assainissement du Service Public*. Recuperado de http://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/eau/assainissement/20120326_gl_reglement_assainissement.pdf
- Domènech, L., March, H. y Saurí, D. (2013). Degrowth initiatives in the urban water sector? A social multi-criteria evaluation of non-conventional water alternatives in Metropolitan Barcelona. *Journal of Cleaner Production*, 38, 44-55. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.09.020
- Fassman, E. y Blackbourn, S. (2010). Urban Runoff Mitigation by a Permeable Pavement System over Impermeable Soils. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15, Special Issue: 475-485. Recuperado de [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000238](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000238)
- Fewkes, A. (1999). The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. *Building and Environment*, 34(6), 765-772. doi: 10.1016/S0360-1323(98)00063-8
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Viklander, M. et al. (2014). SUDS, LiD, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542. doi: 10.1080/1573062X.2014.916314
- Floyd, J., Iaquinto, B., Ison, R. y Collins, K (2014). Managing complexity in Australian urban water governance: transitioning Sydney to a water sensitive city. *Futures*, 61, 1-12. doi: 10.1016/j.futures.2014.04.002
- Foley, R. y Kistemann, T. (2015). Blue space geo Place, 35, 157-165. doi: 10.1016/j.healthplace.2015.07.003
- graphics: Enabling health in place. *Health & Place*, 35, 157-165. doi: 10.1016/j.healthplace.2015.07.003

- Fujita, S. (1984). Experimental Sewer System for Reduction of Urban Storm Runoff. *Proceedings Third International Conference on Urban Drainage*. Göteborg: Chalmers University of Technology.
- Gemeente Rotterdam (2011). *Vasthouden van regenwater in de openbare ruimte van Rotterdam*. Rotterdam: Gemeente Rotterdam. Recuperado de https://www.gemeentewestland.nl/fileadmin/documenten/ondernemen/folder_Rotterdam_vasthoudenvanregenwater.pdf
- Godskalk, D. R. (2003). Urban hazard mitigation: Creating resilient cities. *Natural Hazards Review*, 4(3), 136-143. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2003\)4:3\(136\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:3(136))
- Göransson, S. (2013). *En ny mötesplats i Lövholmen, Stockholm*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Green Roofs for Healthy Cities (2016). *Green Roof Benefits*. Recuperado de <http://www.greenroofs.org/index.php/about/greenroofbenefits>
- Hamin, E. M. y Curran, N. (2009). Urban form and climate change: Balancing adaptation and mitigation in the U.S. and Australia. *Habitat International*, 33(3), 238-245. doi: 10.1016/j.habitatint.2008.10.005
- Handia, L., Tembo, J. M. y Mwiindwa, C. (2003). Potential of rainwater harvesting in urban Zambia. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28(20), 893-896. doi: 10.1016/j.pce.2003.08.016
- Heikkila, E. y Huang, M. (2014). Adaptation to Flooding in Urban Areas: An Economic Primer. *Public Works Management & Policy*, 19(1), 11-36. doi: 10.1177/1087724X13506559
- Herrmann, T. y Schmid, U. (2000). Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. *Urban Water*, 1(4), 304-316. doi: 10.1016/S1462-0758(00)00024-8
- Houghton, J., Meira, L., Chander, B., Harris, N., Kattenberg, A. y Maskell, K. (1996). *Climate Change 1995: the science of climate change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hu, M., Takara, K. y Zhang, X. (2013). Analysis of Optimum Rainwater Tank Size in a Multi-building. *Disaster Prevention Research Institute Annuals*, 56, 53-58. Recuperado de <http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no56/ronbunB/a56b0p06.pdf>
- James, N. y Metternicht, G. (2013). How to grow a green roof industry. *CitiesAlive 11th Annual Green Roof and Wall Conference*, San Francisco.
- Kim, R-H., Lee, S., Kim, Y-M., Lee, J-H., Kim, S-K. y Kim, S-G. (2010). Pollutants in rainwater runoff in Korea: their impacts on rainwater utilization. *Environmental Technology*, 26(4), 411-420. doi: 10.1080/0959332608618546
- Lau, T. L., Majid, T., Choong, K. K., Zakaria, N. A. y Ab. Ghani, A. (2005). Study on a high rise building incorporated with rainwater harvesting storage tank towards building sustainable urban environment in Malasya. En *The 2005 World Sustainable Building Conference*. Tokio.
- Li, Z., Boyle, F. y Reinoles, A. (2010). Rainwater Harvesting and Greywater Treatment Systems for Domestic Application in Ireland. *Desalination*, 260, 1-8. doi: 10.1016/j.desal.2010.05.035
- Lloyd, S., Roberts, S. y Beck, L. (2016). *Water Sensitive Cities Benchmarking and Assessment: Moonee Valley City Council Melbourne*. Melbourne: CRCWSC. Recuperado de https://watersensitivocities.org.au/wp-content/uploads/2016/07/WSCIndexReport_MVCC_Final.pdf
- Lucke, T. y Beechman, S. (2013). An investigation into the differences in infiltration capacity between porous and permeable concrete pavers installed on sloping sub-catchments. En *Nova-tech, 8th International Conference*, Lyon.
- McCallum, T. (2014). *Conceptualising Urban Water Regulation. The Melbourne System*. Melbourne: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities.
- Melbourne Water (2009). *Water Sensitive Urban Design Guidelines*. Melbourne: Melbourne Water.
- Ministeriet for By (2013). *Regnvand i Byen. 9 Europæiske lar Projekter*. Københavns Kommune: Ministeriet for By. Recuperado de https://www.livogland.dk/sites/livogland.dk/files/dokumenter/publikationer/regnvand_i_byen_screen.pdf
- Mitrovic, S. (2010). Action plan for sustainable city of Toronto. En *46th ISOCARP Congress 2010*, Nairobi.
- Mourad, K. y Berndtsson, R. (2011). Potential water saving from rainwater harvesting in Syria. *Waterten*, 67, 113-117. Recuperado de <http://lup.lub.lu.se/record/2214878>
- Nolde, E. (2007). Possibilities of rainwater utilization in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces. *Desalination*, 215, 1-11. doi: 10.1016/j.desal.2006.10.033
- OECD (2013). *Water and Climate Change Adaptation: Policies to Navigate Uncharted Waters*. European Union: OECD Publishing.
- OFEFP (2002). *Analyse du cycle d'approvisionnement de l'eau et récupération d'eau de pluie*. Berna: OFEFP.
- Petrucci, G. (2012). *La diffusion du contrôle à la source des eaux pluviales urbaines. Confrontation des pratiques à la rationalité hydrologique*. Thèse de doctorat. Université Paris-Est. Paris.
- PWD-Philadelphia Water Departament (2014). *City of Philadelphia Green Streets Design Manual*. Philadelphia: PWD. Recuperado de http://www.phillywatersheds.org/img/GSDM/GSDM_FINAL_20140211.pdf
- Quebec (2014). *Guide de gestion des eaux pluviales*. Quebec: Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs. Recuperado de <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide-gestion-eaux-pluviales.pdf>
- Ramkissoon, H., Smith, L. y Kneebone, S. (2014). *Accelerating transition to water sensitive cities. Behaviour Assessment Database*. Melbourne: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities.
- Ranger, N., Hallegatte, S., Bhattacharya, S., Bachu, M., Priya, S., Dhore, K. y Herweijer, C. (2011). An assessment of the potential impact of climate change on flood risk in Mumbai. *Climatic Change*, 104(1), 139-167. doi: 10.1007/s10584-010-9979-2
- Redaud, J., Noilhan, J., Gillet, M., Huc, M. y Begne, G. (2002). *Changement climatique et impact sur le régime des eaux en France*. Toulouse: Ministère de l'Ecologie et du développement Durable.
- Régie du bâtiment Québec (2014). *Modifications du Québec applicables au Code national de la plomberie Canada 2010*. Recuperado de <https://www.rbc.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/Publications/francais/modifications-du-quebec-au-code-national-plomberie-2010.pdf>
- Région de Bruxelles-Capitale (2006). *Règlement Régional d'Urbanisme. Titre I. Caractéristiques des constructions et de leurs abords*. Recuperado de https://urbanisme.irisnet.be/pdf/RRU_Titre_1_FR.pdf
- République et Canton de Genève (2005). *Gestion quantitative des eaux pluviales*. Recuperado de http://ge.ch/eau/media/eau/files/fichiers/documents/Directives/gestion_quantitative_des_eaux_pluviales.pdf
- Santiago Lastra, J. A., López Carmona, M. y López Mendoza, 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. Recuperado de <http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-12articulosPDF/6-Dr %20Santiago %20UNICH.pdf>
- Slys, D. (2009). Potential of rainwater utilization in residential housing in Poland. *Water and Environment Journal*, 23(4), 318-325. doi: 10.1111/j.1747-6593.2008.00159.x
- Stockholms Stad (2014). *Dagvattenstrategi Stockholms väg till en hållbar dagvattenhantering*. Stockholm: Trafikkontoret, Miljöförvaltningen, Stadsbyggnadskontoret, Exploateringskontoret, Stockholm Vatten. Recuperado de <https://insynsverige.se/documentHandler.ashx?did=1787987>
- Stockholms Stad (2001). *Ta hand om ditt vatten*. Stockholms Stad: Stockholm Vatten. Recuperado de [http://miljobarometern.huddinge.se/content/docs/Ta%20hand%20om%20ditt%20vatten\[1\].pdf](http://miljobarometern.huddinge.se/content/docs/Ta%20hand%20om%20ditt%20vatten[1].pdf)
- Størvring, Jan (2012). *PartnerLandskab: statusrapport 2009-2012*. Frederiksberg: Skov & Landskab, Københavns Universitet. Recuperado de http://ign.ku.dk/partnerlandskab/filer/PartnerLandskab-statusrapport_net.pdf
- Svenskt Vatten (2016). *Publikation 110. Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem*. Stockholm: Svenskt Vatten. Recuperado de http://vav.griffel.net/filer/p110_deli_jan2016.pdf
- Urban Water Security Research Alliance (2012). *5 Years of Urban Water Research in South East Queensland. 2007-2012*. Queensland: Queensland Government. Recuperado de <http://www.urbanwateralliance.org.au/publications/UWSRA-final-synthesis-report.pdf>
- VanWoert, N. D., Rowe, D. B., Andresen, J. A., Rugh, C. L., Fernandez, R. T. y Xiao, L. (2005). Green roof stormwater retention. *Journal of Environmental Quality*, 34(3), 1036-1044. doi: 10.2134/jeq2004.0364
- Villarreal, E. L. y Dixon, A. M. (2005). Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40(9), 1174-1184. doi: 10.1016/j.buildenv.2004.10.018
- Wade, S., Faye, S., Dieng, M., Kaba, M. y Kane, N. R. (2009). Télédétection des catastrophes d'inondation urbaine : le cas de la région de Dakar (Sénégal). *Journées d'Animation Scientifique (JAS09) de l'AUF Alger*.
- Water by Design (2014). *Bioretention. Technical Design Guidelines*. Bribane: Healthy Waterways.
- Wilby, R. y Keenan, R. (2012). Adapting to flood risk under climate change. *Progress in Physical Geography*, 36(3), 1-31. doi: 10.1177/0309133312438908
- Wilson, S., Bray, B., Neesam, S., Bunn, S. y Flanagan, E. (2010). *Sustainable Drainage. Cambridge Design and Adoption Guide*. Cambridge: Cambridge City Council.
- Wolf, L., Klinger, J., Hoetzl, H. y Mohrlok, U. (2007). Quantifying Mass Fluxes from Urban Drainage Systems to the Urban Soil-Aquifer System. *Journal Soils Sediments*, 7(2), 85-95. doi: <http://dx.doi.org/10.1065/jss2007.02.207>
- Zhang, D., Gersberg, R., Wilhelm, C. y Voigt, M. (2009a). Decentralized water management: rainwater harvesting and greywater reuse in an urban area of Beijing, China. *Urban Water Journal*, 6(5), 375-385. Recuperado de <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15730620902934827>
- Zhang, D., Chen, D. i., Chen, L. y Ashbolt, S. (2009b). Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 222-226. doi: 10.1016/j.jenvman.2009.08.008

PAG. 6

Estructura de indicadores de habitabilidad del espacio público en ciudades latinoamericanas

Structure of indicators of public space habitability in Latin American cities

Pablo Páramo, Andrea Burbano, Diana Fernández-Londoño

PAG. 27

Além do público/privado
Intervenções temporárias e criação de espaços coletivos no Rio de Janeiro

Más allá de lo público y lo privado. Intervenciones temporales y creación de espacios colectivos en Río de Janeiro

Beyond the public and the private. temporary interventions and the creation of collective spaces in Rio de Janeiro

Adriana Sansão-Fontes, Aline Couri-Fabião

PAG. 40

Conservar o renovar: dinámicas de construcción en el centro histórico de tres ciudades intermedias patrimoniales
Una mirada a través de las licencias urbanísticas

To preserve or to renovate: Construction dynamics in the historic center of three intermediate-sized heritage cities. A look through urban planning permits

Lida Buitrago-Campos

PAG. 50

El paisaje del hábitat horizontal:
la Unidad del Tuscolano en Roma y el Poblado de Entrevías en Madrid

The landscape of horizontal habitats: The Tuscolano Unit in Rome and the Village of Entrevías in Madrid

Federico Colella

PAG. 60

Evolución paralela del relato filmico y la arquitectura de los cines entre 1900 y 1930
Atención especial al caso español

Parallel evolution of cinematographic stories and the architecture of cinemas between 1900 and 1930, with a special attention to the Spanish case

Ana C. Lavilla-Iribarren

PAG. 71

El plan, acto mesiánico del proyectista
La situación histórica del diseño en la utopía modernizante

The plan, a messianic act of the project architect. The historical situation of design in the modernizing utopia

Valentina Mejía-Amézquita, Adolfo León Grisales-Vargas

PAG. 82

Resiliencia a inundaciones: nuevo paradigma para el diseño urbano

Flood resilience: A new paradigm for urban design
Resilience to flooding: new paradigm to urban design

Luis Fernando Molina-Prieto

PAG. 95

Acceso solar en la arquitectura y la ciudad
Aproximación histórica

Solar access in architecture and the city. Historical approach
Ricardo Franco-Medina, Pedro Juan Bright-Samper

PAG. 107

Campus universitario sustentable

Sustainable university campus

Lina Johanna Zapata-González, Andrés Quiceno-Hoyos,
Luisa Fernanda Tábares-Hidalgo

PAG. 120

La crítica arquitectónica como objeto de investigación
[La critique architecturale, objet de recherche]

Architectural criticism as an object of research

Hélène Jannière

Traductores: Andrés Ávila-Gómez, Diana Carolina Ruiz



CULTURA Y ESPACIO URBANO
CULTURE AND URBAN SPACE

PROYECTO ARQUITECTÓNICO Y
URBANO
ARCHITECTURAL AND URBAN
PROJECT

TECNOLOGÍA, MEDIOAMBIENTE Y
SOSTENIBILIDAD
TECHNOLOGY, ENVIRONMENT
AND SUSTAINABILITY

DESDE LA FACULTAD
FROM THE FACULTY

TEXTOS
TEXTS



La Revista de Arquitectura es de acceso abierto, arbitrada e indexada y está presente en:



Revista de Arquitectura Universidad Católica de Colombia



@RevArqUCATOLICA

