

# LA GESTIÓN SUSTENTABLE DEL AGUA EN LA ARQUITECTURA Y URBANISMO

**JOSÉ ARTURO GLEASON ESPÍNDOLA**

Universidad de Guadalajara  
México

Recibido: 30 de septiembre de 2016. Aceptado: 9 de enero de 2017.

## RESUMEN

El objetivo de este artículo es analizar la problemática actual del agua en las ciudades considerando las consecuencias de no tomar en cuenta el ciclo del agua (sistema natural) como eje en la planeación urbana y en el diseño de los sistemas hidrosanitarios (sistema artificial). Se muestra que al ignorar el ciclo del agua en la construcción de las ciudades, éste responde de manera inmediata con problemas como las inundaciones y escasez de agua. Así, también se comenta cómo la conexión de nuevos edificios afecta el funcionamiento del sistema hidrosanitario urbano y provoca problemas como irregularidad en el suministro de agua y en el desalojo de aguas residuales. Finalmente, se propone un enfoque de preservación y restauración del ciclo del agua por medio de políticas públicas que faciliten la instalación de tecnologías sustentables y la observación de normas técnicas previas a la urbanización que aseguren el buen funcionamiento del sistema hidrosanitario urbano. La arquitectura y el urbanismo deben ser sensibles al funcionamiento del agua en sus dos sistemas para asegurar la vida de las presentes y futuras generaciones.

*Palabras clave:* arquitectura; urbanismo; ciclo del agua; sistema hidrosanitario urbano.

## ABSTRACT

The objective of this article is to analyze the current water problem in cities and its consequences, when the water cycle (natural system) is not considered as the basis of urban planning and in the design of hydrosanitary systems (artificial system). This work shows that if the water cycle is ignored in urban planning, the immediate consequences are floods and water shortages. Moreover, the connection of new buildings to the urban hydrosanitary system, affects its operation, producing an irregular water supply and deficient drainage services. Finally, previous to the urbanization process, this work proposes a preservation and restoration approach of the water cycle through the policies that ensure the implementation of sustainable technologies and the compliance with technical standards in order to ensure the proper function of the hydrosanitary system. The architecture and urbanism should be sensitive to the function of water in both systems (natural and artificial) to guarantee the life of present and future generations.

*Keywords:* Architecture; urbanism; water cycle; urban hydrosanitary system.

## INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de arquitectura y de urbanismo, normalmente el peso que se le da a la cuestión del agua es complementario; al diseñar las ciudades y sus edificaciones, sólo es un punto más por cumplir en la lista de cosas que se tienen que tomar en cuenta para su construcción. Cuando las construcciones se llevan a cabo de esta manera, problemas como servicio deficiente de suministro de agua, inundaciones y otros más, son las consecuencias más comunes. Enfrentar el problema del agua requiere la participación de todas las disciplinas para su solución, pues ya no es viable delegarlo sólo a los ingenieros, sino que deben integrarse las especialidades para formular una solución integral. Sin embargo, la arquitectura y el urbanismo tienen un papel fundamental en esta dinámica. Este artículo tiene como propósito reflexionar acerca de la importancia de conocer aspectos básicos del agua y su relación directa con la forma en que se llevan a cabo la arquitectura y el urbanismo. Ignorar lo anterior permitirá que el deterioro ambiental relacionado con agua persista y se complique con el tiempo si seguimos fomentando esta desconexión. El cuerpo académico UDG-604 “Gestión y tecnología para la arquitectura y urbanismo sustentable”, ha impulsado los últimos seis años la línea de investigación referente a la gestión del agua y su aplicación en la arquitectura y el urbanismo y ha planteado los enfoques principales y los desafíos que enfrentamos en materia de investigación a corto, mediano, y largo plazos.

## EL AGUA EN EL MUNDO

Aproximadamente 70% de la superficie de la Tierra está cubierto por agua, y los océanos contienen alrededor de 96.5% de toda el agua del planeta. El restante 3% es de agua dulce, pero casi

toda está congelada en los polos, en los glaciares. El agua congelada representa 68.7% del agua dulce, el agua subterránea representa 30.1% y en los ríos y en los lagos solamente encontramos 0.3% de agua dulce; del 100% esta última cantidad, 87% se encuentra en los lagos, 11% en pantanos y 2% en ríos (Gleason, 2014). Si imaginamos que el planeta tiene 100 litros de agua, entonces solamente se disponen de 750 mililitros de subterránea y 7 mililitros en ríos y lagos superficiales, es toda el agua dulce para la vida terrestre y la humanidad (véase Figura 1).

Es importante notar que es probable que dentro de 15 años, la mitad de la población mundial tenga dificultades para encontrar agua dulce en cantidades suficientes para el consumo y el riego. Hoy en día, más de 80 países, lo que representa 40% de la población mundial, sufre una grave escasez de agua. Las condiciones podrían llegar a empeorar en los próximos 50 años, a medida que la población aumente y que el calentamiento global perturbe los regímenes de precipitaciones. Un tercio de la población mundial vive en zonas con estrés hídrico, donde el consumo supera al abastecimiento. Asia sur-occidental es la región más amenazada por esta situación. Más de 90% de la población de esa región está sufriendo un grave estrés hídrico, con un consumo de agua que supera en 10% los recursos hídricos renovables (UNESCO, 2015)

En México, uno de los factores que peor influyen en los problemas relacionados con el agua es su distribución. Actualmente, más de 12 millones de personas carecen de agua potable, en especial en las zonas rurales y marginales. Por otro lado, la calidad del agua se ve afectada por la contaminación resultado de las descargas de residuos domésticos, industriales, agrícolas y mineros. Noventa millones de mexicanos, a pesar de tener la supuesta infraestructura para recibir agua potable, necesitan potabilizar su agua por medio de sistemas de purificación doméstica o comprarla a muy altos costos a empresas privadas, ya que las plantas purificadoras y las redes de conducción dispuestas por el gobierno o las cisternas y los tinacos de almacenamiento individuales no fun-

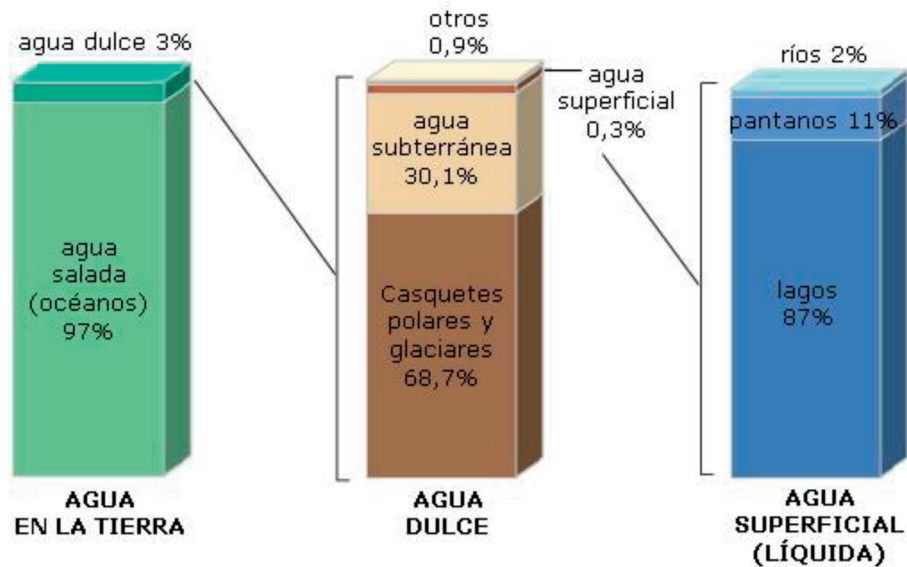


FIGURA 1. Distribución del agua en el mundo

cionan de forma adecuada y contaminan el vital líquido antes de que llegue al consumidor final. Esta injusticia ha resultado ser un muy lucrativo negocio, que convierte el agua potable en un bien privado.

Las ciudades, en especial, no están ajenas a la problemática que se explicó con anterioridad. De hecho es en los centros urbanos en donde se manifiestan los peores problemas de escasez y contaminación. De tal manera que la arquitectura como la disciplina que proyecta los espacios para las actividades humanas y el urbanismo como la disciplina que estudia la planeación de los asentamientos urbanos, tienen el desafío de resolver el problema desde la vivienda y la forma en que se organizan las ciudades. Por tanto, es muy importante que ambas disciplinas asuman un compromiso de tomar en cuenta la problemática y que con sus herramientas detengan el deterioro y se establezcan propuestas de solución.

## FUNCIONAMIENTO DEL AGUA EN LA NATURALEZA Y EN LA INFRAESTRUCTURA

Es fundamental para entender la problemática del agua y su solución a fondo, conocer su funcionamiento en la naturaleza y en los sistemas que el hombre ha diseñado para beneficiarse de ella.

Sin un conocimiento básico de ambas esferas, la capacidad de detener el deterioro, restaurar lo dañado y el diseño de las soluciones serían labores casi imposibles de cumplir. Lo que no se entiende cómo funciona, no se puede mejorar.

En primer lugar conoceremos el funcionamiento del agua en naturaleza. La ciencia que estudia el agua en la naturaleza se denomina hidrología. Hidrología es la ciencia que se dedica al estudio de la distribución y las propiedades del agua de la atmósfera y la superficie terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración, el agua subterránea y el equilibrio de las masas glaciares (Aparicio, 1996).

Un concepto fundamental de la hidrología es el ciclo del agua. Es el movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea (véase Figura 2). Sin el ciclo del agua, prácticamente la vida sería imposible en la Tierra. Este se convierte en el punto de referencia más importante para el manejo del agua: ignorar su funcionamiento y su importancia es atentar contra la vida misma (Aparicio, 1996).

Otro concepto fundamental es el de la cuenca: Territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que lleva sus aguas al mar

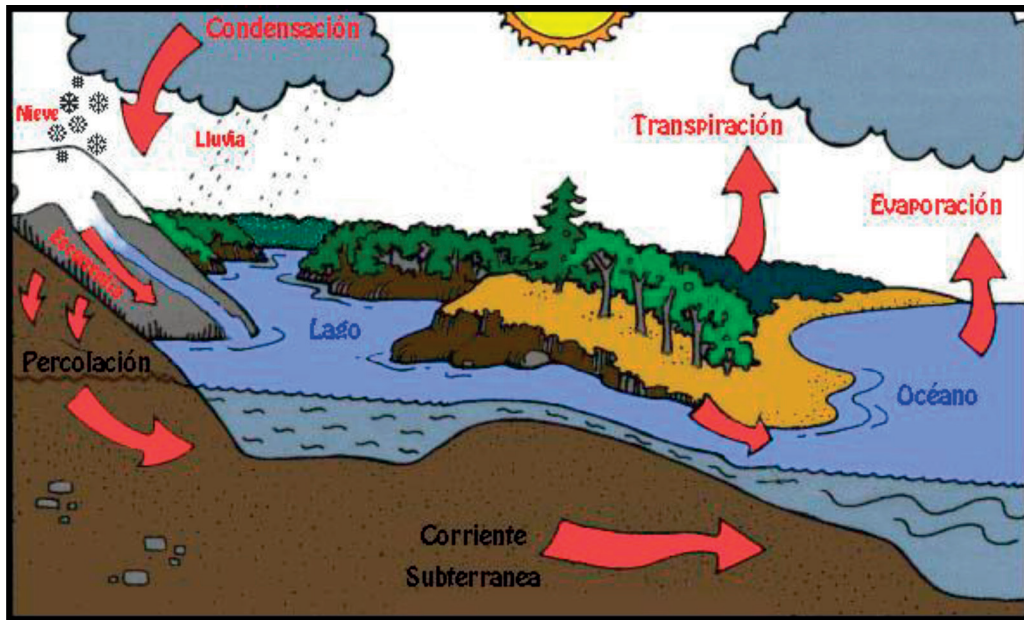


FIGURA 2. Ciclo del agua. Fuente: Aparicio, 1996.

por un único río, o que las vierte a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas o parte aguas. En la Figura 3 se pueden observar dos cuencas vecinas que comparten un parteaguas (línea roja).

En la Figura 3 se puede observar que la cuenca de la izquierda no tiene punto de salida y la de la derecha sí. A la primera se le llama cuenca

endorreica y a la segunda exorreica. En varias ocasiones, el desconocimiento de lo anterior ha llevado a los seres humanos construir en las partes bajas de las cuencas exorreicas y, por lo tanto, quienes viven ahí sufren inundaciones. No es lo mismo proyectar asentamientos urbanos en cuencas endorreicas porque se complica la salida de agua y se fomentan las inundaciones. En la Figura 4 se observa una inundación en la cuenca

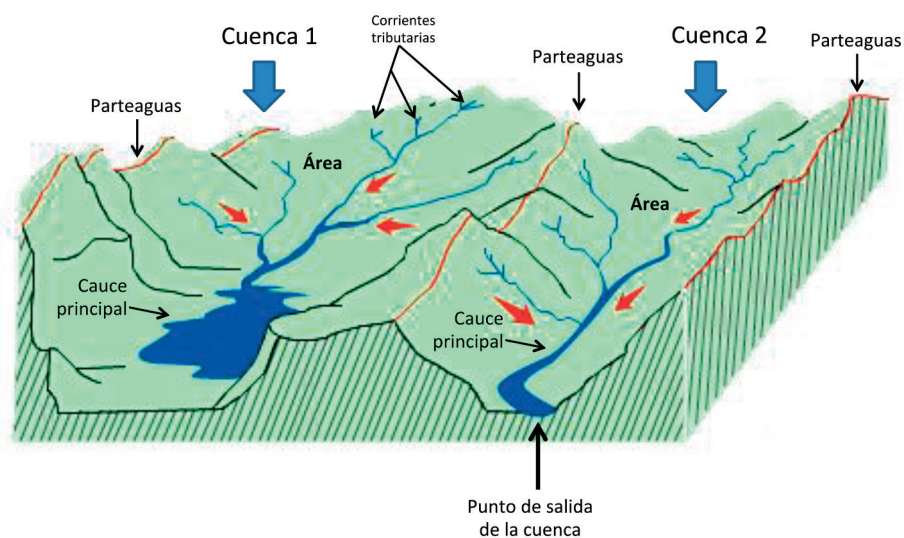


FIGURA 3. Cuencas endorreica y exorreica. Fuente: Gleason, 2014.



endorreica de El Bajío del Arenal en el municipio de Zapopan.



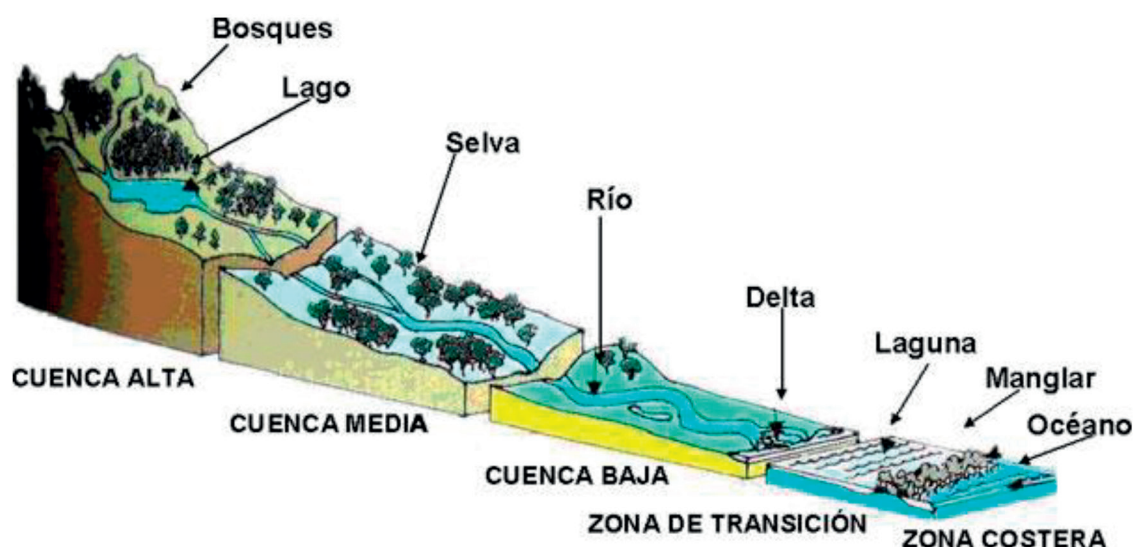
**FIGURA 4.** Inundación en la cuenca endorreica El Bajío del Arenal. Fuente: Martínez, 2010.

Un último concepto del sistema natural tiene que ver con las partes de una cuenca. En la Figura 5 se observan las partes de una cuenca. La primera se denomina parte alta, se siguen la media y la parte baja. Tanto los problemas como las soluciones de una cuenca comienzan en la parte alta. Por ejemplo, si en la parte baja existen problemas de contaminación de agua, es porque recibe las contaminaciones de los que habitan en la parte alta. Si en las partes bajas se presentan inundaciones, lo más probable es que en las partes altas que están urbanizadas no se infiltre el agua debido a la presencia de concreto en las

calles y casas, y las aguas pluviales llegan a las partes bajas de manera inmediata, donde provocan grandes acumulaciones.

Ignorar estos aspectos básicos de la cuenca es atentar contra ella. En la medida en que el hombre agrede a la cuenca, la reacción de ésta contra los agresores será igual y, en ocasiones, en mayores dimensiones. Basta ver los desastres provocados en zonas costeras cuando son inundadas por algún ciclón o huracán. También se pueden observar en las grandes ciudades enormes inundaciones provocadas por la falta de infiltración producto del extendimiento desordenado de la mancha de concreto.

Además, cuando el arquitecto proyecta algún edificio, por lo general ignora los aspectos hidrológicos de la zona. Como ya se vio, en ocasiones se ponen edificios en zonas de recarga acuífera que impiden el ingreso del agua al subsuelo, lo que provoca escasez e inundación. Y, lo que es peor, en ocasiones las aguas negras son arrojadas a las zonas de recarga y a los ríos, como sucedió durante los juego Panamericanos celebrados en Guadalajara en el año 2011 cuando las Villas Panamericanas descargaron los desechos a la zona de recarga acuífera. En la Figura 6 se observan las aguas negras alojadas en el suelo durante la ce-



**FIGURA 5.** Partes de una cuenca.

lebración de los juegos Panamericanos (Castillo y Hernández, 2011).

De tal manera que el urbanismo y la arquitectura deben considerar con cuidado los aspectos hidrológicos en la planeación urbana y la programación arquitectónica, para asegurar que el sistema natural no sea trastornado de forma severa, porque de hacerlo así, la seguridad de los habitantes de la cuenca se verá comprometida.

Además del entendimiento del funcionamiento del ciclo del agua, es importante comprender lo que corresponde a los sistemas que el hombre ha diseñado para utilizar el agua. Al sistema que utiliza el agua a partir del sistema natural se le denomina sistema hidrosanitario urbano. Es el proceso que tiene como objetivo suministrar agua potable a una comunidad mediante la construcción de obras hidráulicas para la captación, la purificación, la conducción, el almacenamiento y la distribución del agua; así como para la recolección de las aguas servidas. Para ello es necesario proyectar una red de colectores y obras complementarios que conduzcan el agua residual a una planta de tratamiento y luego las viertan a un cuerpo de agua receptor (Gleason, 2014). En la Figura 7 se presenta un diagrama de este proceso.

Las partes del sistema hidrosanitario se subdividen en abastecimiento y saneamiento. En el abastecimiento o suministro se incluyen las funciones de:

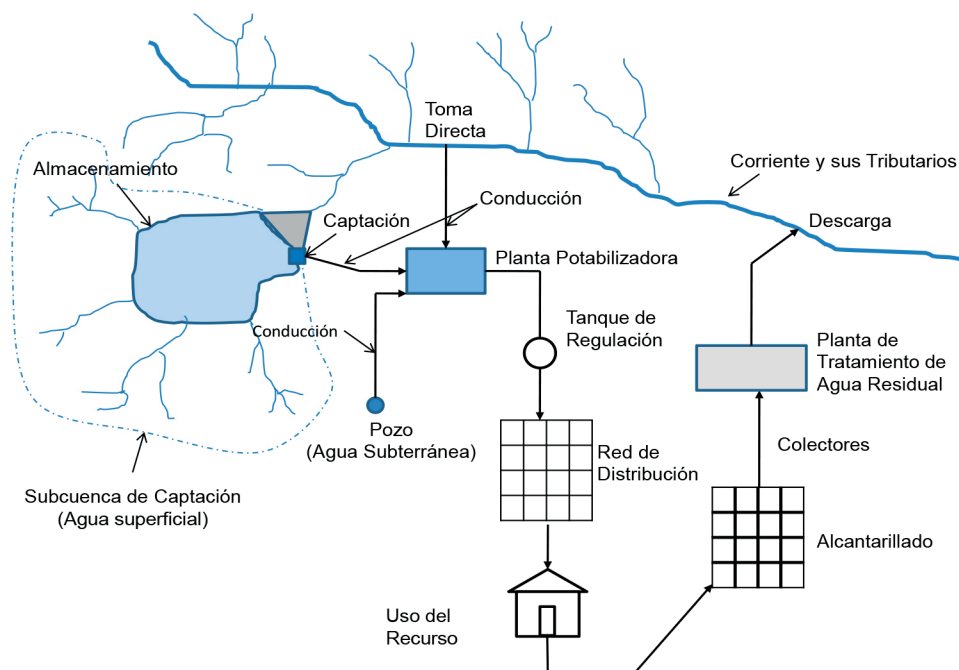
1. Captación y almacenamiento de las fuentes de suministro de la región (ríos, manantiales, acuíferos, etc.) y en embalses.
2. Conducción: mediante conducciones e instalaciones diversas (bombeos, tanques de regulación de presión y/o caudal, depósitos intermedios, etcétera).
3. Potabilización: proceso de purificación del agua que se lleva a cabo en las plantas potabilizadoras (PP).
4. Distribución: el agua purificada pasa de la planta potabilizadora a tanques de regulación para llegar a los consumidores por conducto de las redes de agua potable de cada ayuntamiento.
5. Consumo: en esta etapa el usuario consume el agua para diversos servicios.

Las aguas pluviales, residuales e industriales son recogidas por los sistemas de alcantarillado gestionados por los ayuntamientos y organismos operadores. Posteriormente son evacuadas a los colectores-interceptores generales que las conducen hasta las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) donde, como parte final del proceso de saneamiento, se depuran y restituyen a los medios receptores (ríos y mar) con la calidad deseada.

El saneamiento incluye las funciones de:



**FIGURA 6.** Aguas negras en una zona de recarga. Fuente: Castillo y Hernández, 2011.



**FIGURA 7.** Configuración general de un sistema hidráulico urbano. Fuente: Gleason, 2014.

1. Alejamiento: las aguas pluviales, residuales e industriales se alejan mediante la red de alcantarillado municipal. Luego el agua residual es conducida por colectores e interceptores.
2. Tratamiento: el agua residual se sana en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). El agua tratada se devuelve al medio natural.

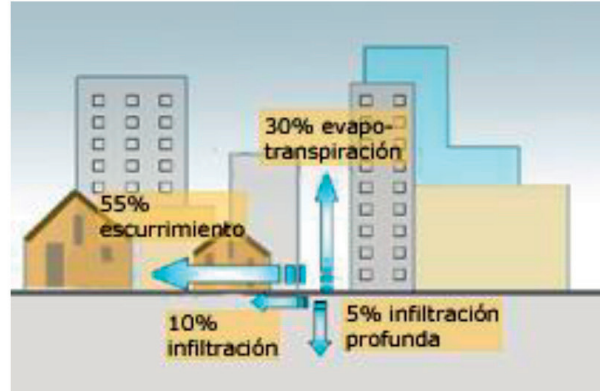
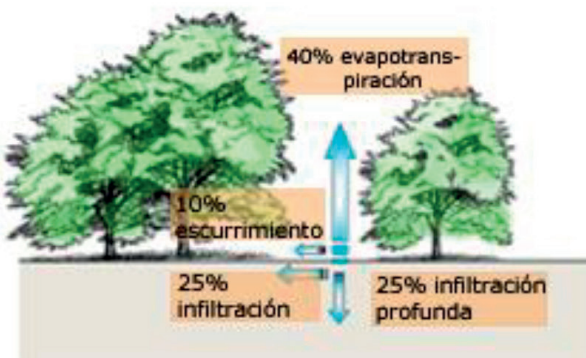
El sistema hidrosanitario es la herramienta con la que el ser humano dispone del agua para su beneficio. Cada una de sus partes requiere un diseño cuidadoso para abastecer y sanear el agua; como se verá más adelante, un desajuste provocado por la construcción de alguna edificación no planeada puede modificar de forma negativa su funcionamiento. Por eso es muy importante que el urbanista o el arquitecto consideren la configuración del sistema hidrosanitario que brindará servicios a algún asentamiento urbano o edificación.

## PROBLEMÁTICA

Se aborda la problemática del agua tomando como esquema de análisis las dos esferas de su funcionamiento: la natural y la artificial. El primer término, el sistema natural, se ve afectado cuando el ser humano ha cubierto con concreto las superficies de la cuencas. Este hecho modifica las variables del ciclo del agua en forma negativa. Cuando la cuenca está en condiciones naturales (sin urbanización), la distribución del agua en cada variable se observa en la figura 8a, pero cuando la cuenca es cubierta (después de la urbanización), los escurrimientos crecen de manera rápida y provoca inundaciones y disminuyen el volumen de infiltración hacia el subsuelo, como se observa en la figura 8b.

Otro efecto negativo causado por el desajuste en las variables del ciclo hidrológico es el aumento de las avenidas de agua por la deforestación en las diferentes partes de las cuencas. Estas avenidas destruyen todo lo que encuentran a su paso y erosionan el suelo provocando la desertificación. Este último fenómeno crece en varias partes de México produciendo escasez de agua. Al



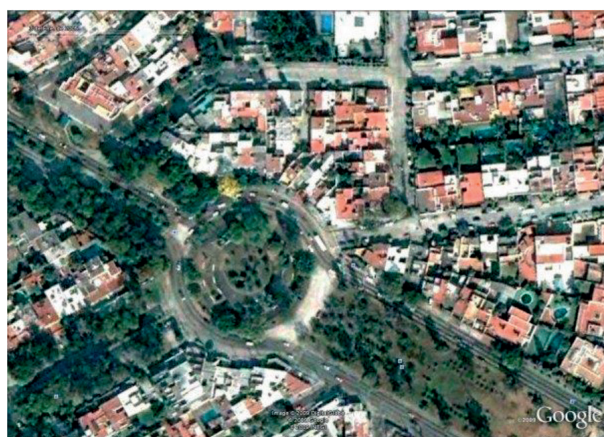


**FIGURA 8.** Variables del ciclo hidrológico.

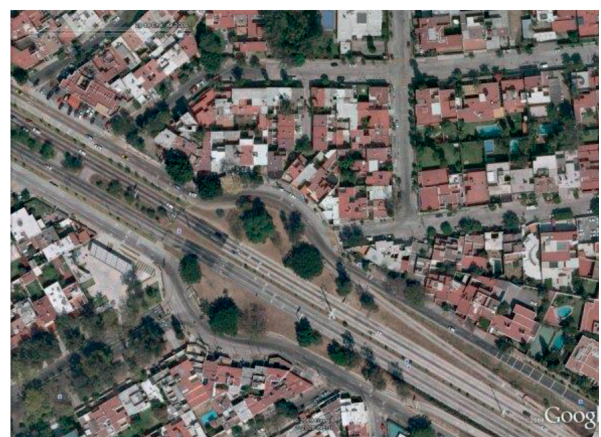
no haber árboles no puede haber infiltración de agua por sus raíces al subsuelo y se imposibilita la recarga de los acuíferos, que con el tiempo se secan y comprometen la disponibilidad de agua subterránea. En la Figura 9 se puede observar el cambio en la masa forestal en la colonia Chapalita de la ciudad de Guadalajara, Jalisco. Se observa que en el año 2005 existía mayor masa forestal que fue retirada por la construcción del puente Ing. Matute Remus, por lo que en 2010, la masa forestal es mínima y el área de concreto es mayor.

No sólo el Área Metropolitana de Guadalajara experimenta esta situación, sino también la de la ciudad de Monterrey. En el año 2010 el huracán Alex afectó a la ciudad con las fuertes lluvias que se presentaron durante varios días y provocaron avenidas de agua. La lluvia fue de 491 milímetros

en promedio, mayor a la registrada durante todo un año. Con el huracán Gilberto, en 1988, cayeron 280 mm en la ciudad. Por ejemplo, el 1 de julio, 200 milímetros de agua, o sea, 200 litros por m<sup>2</sup>. El pluviómetro en la colonia La Estanzuela en el municipio de Monterrey reportó 890 mm, que equivalen a lo que se precipita en Guadalajara en un año. Debido a los daños que provocó Alex, ya se considera como el tercer peor desastre en la historia de Nuevo León (CNN, 2010). En la Figura 10 se observa una calle antes y después al paso del huracán Alex, construida sobre un territorio de pendiente muy alta, lo que aumenta la velocidad del agua que destruye la infraestructura y los bienes de los vecinos. Evidentemente, el ciclo del agua fue ignorado al construir este desarrollo, ya que se debió considerar que la pendiente



2005



2010

**FIGURA 9.** Glorieta en la Avenida Lázaro Cárdenas y Av. Chapalita (Colonia Chapalita en Guadalajara, Jalisco). Fuente: Google earth.



era muy alta y que al presentarse lluvias intensas y prolongadas habría daños a la infraestructura existente.

Esta situación no sólo se presenta en ciudades mexicanas, sino en varias del mundo, lo que ha llevado a desarrollar conceptos como Diseño Urbano Sensible al Agua (Water Sensitive Urban Design, WSUD) en Australia, o las Mejores Prácticas de Gestión (Best Management Practices, BMP) en Estados Unidos, o Desarrollos de Bajo Impacto en Inglaterra (Low Impact Developments, LID). Todos estos países han desarrollado sus diversos protocolos para incluir en la planeación urbana los aspectos esenciales del ciclo del agua que deben tomarse en cuenta para no alterarlo (WSUD, 2014).

En México, como se observó en los dos casos anteriores (en Guadalajara y en Monterrey), el ciclo del agua no es un asunto vital que se considere al proyectar y establecer los asentamientos humanos. El desafío es poder entender cómo funciona el ciclo del agua en la ciudad antes de afectar su funcionamiento con alguna construcción. Dañar el comportamiento de las variables del ciclo del agua es comprometer la disponibilidad de agua para las presentes y futuras generaciones, además, como se ilustró, se pone en juego la integridad de la población y su patrimonio.

Ahora se tratará lo relativo al asunto artificial: a escalas urbana y de edificación. En la escala urbana, no sólo se planea sin considerar el funcionamiento del ciclo del agua, sino que tampoco se toma en cuenta el funcionamiento del sistema urbano hidrosanitario. Así como el ciclo del agua

es dañado, la construcción de una edificación que se ha hecho sin considerar el contexto funcional, dañará el funcionamiento del sistema hidrosanitario si no se toman en cuenta sus aspectos técnicos mínimos.

Las afectaciones más comunes en el sistema hidrosanitario urbano se relacionan con dos aspectos: el abastecimiento y el sanitario. En primer término, cuando se pretende construir un desarrollo, la mayoría de las veces no se pondera si las fuentes actuales de suministro tienen la disponibilidad suficiente para abastecer a la futura población, incluida la ya existente. Se carece de estudios técnicos que permitan conocer si hay agua en la zona a corto, mediano y largo plazos, y en ocasiones los desarrolladores conocen de antemano que no hay posibilidad de dotar de servicios hidrosanitarios y lo pasa por alto. A menudo se han construido desarrollos que nunca tuvieron agua, como es el caso en el municipio de Tlajomulco, Jalisco (Ornelas, 2011).

Por otro lado, cuando un desarrollo es construido sin considerar los aspectos técnicos de la infraestructura hidráulica, el funcionamiento de la red de distribución y la disponibilidad de agua son afectados. Este tipo de sistemas se diseñan considerando primero el número de personas que se ha de abastecer y, en función de esto, el ingeniero dimensiona el sistema de bombeo y los diámetros de las tuberías. En la Figura 11 se puede observar la fuente de suministro (pozo) con cierta disponibilidad para abastecer, en este caso, a cuatro personas y a los vecinos. Por lo general, al



**FIGURA 10.** Una calle en Monterrey antes y después del huracán Alex. Fuente: Periódico *El Norte*.

planear la ciudad no se consideran estos aspectos técnicos de la infraestructura hidrosanitaria.

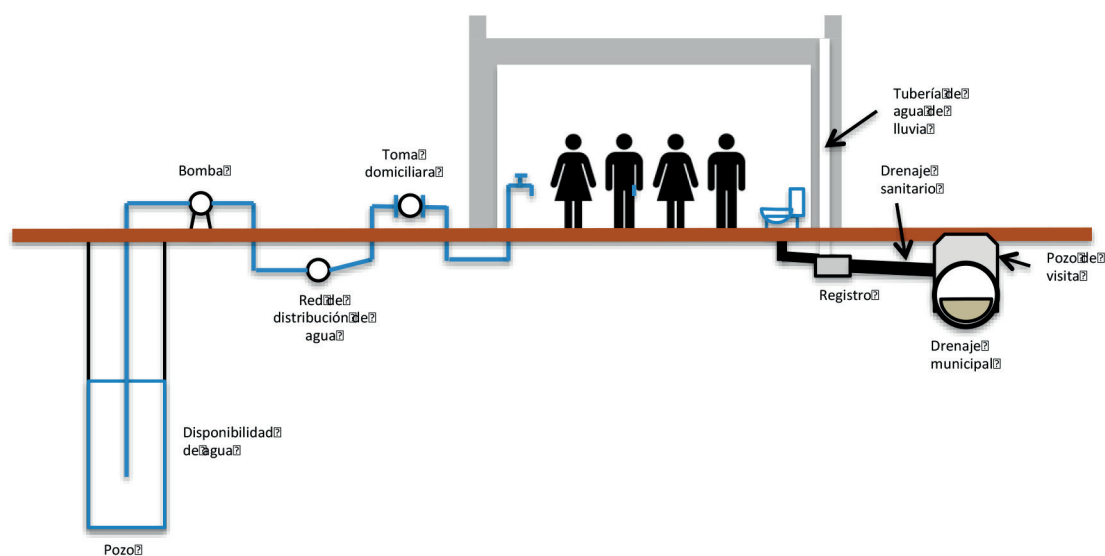
Esta situación se observa también cuando se construyen edificios altos (Figura 12). En este caso, cuando se incrementa el número de personas debido a la construcción de más plantas, la demanda de agua aumenta y las fuentes de suministro son sobre-explotadas, además de disminuir la presión en la red de distribución, lo que dificulta que el agua llegue a todos los vecinos. Es el clásico ejemplo de cuando alguien se está bañando y otra persona abre otra llave, el volumen y la presión de agua disminuyen. Además, por el aumento de la demanda, las fuentes actuales aminoran su oferta. Se puede observar en la Figura 12, que a mayor demanda, la disponibilidad del agua disminuye.

Por lo que respecta a lo sanitario, la Figura 12 muestra cómo el drenaje pluvial y el sanitario se conectan y se canalizan las aguas mezcladas hacia la red de alcantarillado municipal. Cuando crece el número de personas, también se incrementa el volumen de aguas negras que son conducidas al drenaje que se construyó considerando sólo un número limitado de personas. Así también, el volumen de aguas pluviales crece cuando el área impermeable de superficie de las

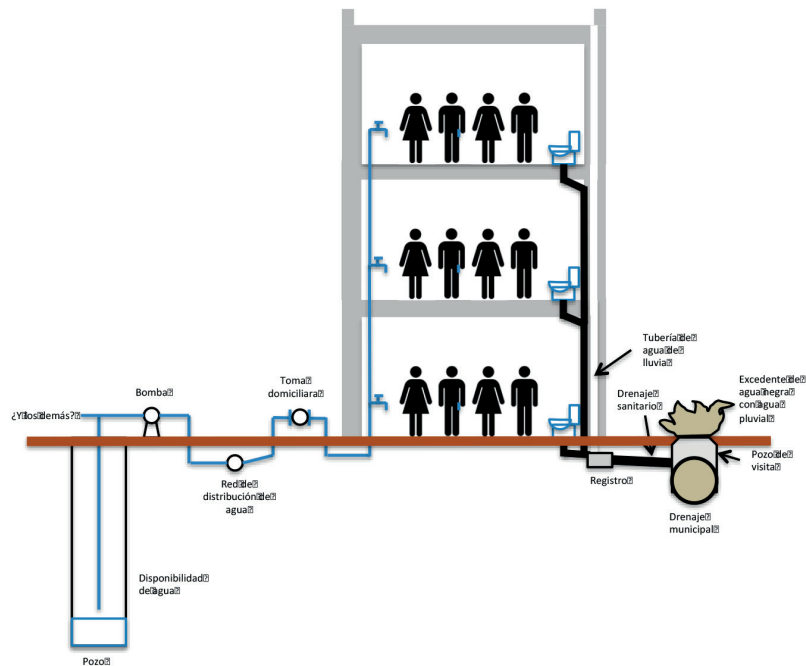
nuevas construcciones aumenta. En la Figura 12 se observa cómo el drenaje urbano se satura de aguas negras y pluviales, que salen por el pozo de visita y en ocasiones también por el escusado. La consecuencia más lógica es que se producen las inundaciones de agua de lluvia mezclada con aguas negras.

En el aspecto edificatorio, cuando se construyen nuevos edificios las afectaciones más comunes son: la irregularidad del suministro de agua y la saturación del drenaje sanitario. En lo referente a la primera afectación, el servicio de suministro no es constante en las edificaciones vecinas e incluso en las nuevas, por lo tanto, las fuentes tienden a agostarse. En segundo término, el drenaje sanitario urbano se satura con las nuevas descargas y los nuevos escurrimientos, a tal grado que las descargas de aguas negras en vez de salir por los colectores se regresan por la tubería sanitaria e inundan los interiores (Figura 13).

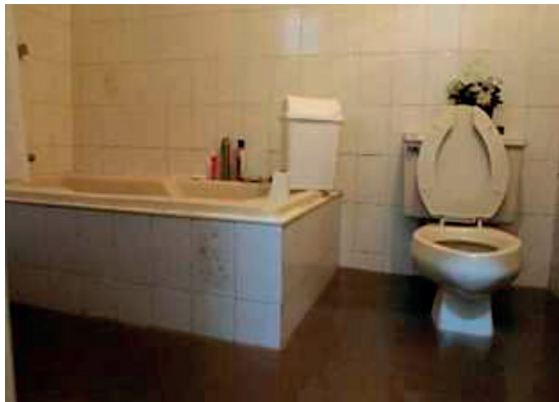
Así, se ha demostrado la problemática tanto en el ámbito natural como en el artificial del agua. Por lo que toca al primero, es una realidad que el funcionamiento del ciclo del agua ha sido modificado por la urbanización desordenada y que las reacciones se muestran por medio de las inundaciones, la sequedad del acuífero y la disminu-



**FIGURA 11.** Sistema hidrosanitario en una vivienda. Fuente: elaborada por el autor, 2016.



**FIGURA 12.** Sistema hidrosanitario de un edificio. Fuente: elaborada por el autor, 2016.



Fuente: Periódico Mural.



Fuente: Periódico Publiómetro.

**FIGURA 13.** Inundaciones en el interior de las edificaciones.

ción de la evapo-transpiración. En lo artificial se aprecia que el suministro y el desalojo de aguas negras se ven seriamente comprometidos cuando se conectan a la misma red de distribución de agua o drenaje las nuevas edificaciones y afectan seriamente la seguridad de los vecinos.

Por lo aquí mencionado, se ha necesario la creación de políticas públicas que impulsen la instrumentación de acciones técnicas para

arreglar el desorden que prevalece hasta estos momentos. Esta propuesta requiere la participación de los ciudadanos que ayuden a inhibir este tipo de crecimiento urbano que afecta a los sistemas hidrosanitarios, mediante la revisión de los planes parciales y su oposición a éstos si se compromete el servicio actual y pone en riesgo la sustentabilidad a largo plazo.



## PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Las propuestas se dividen en la restauración del ciclo del agua y en el establecimiento de directrices que fomenten el diseño de la normatividad que inhiba la construcción de nuevas edificaciones que no consideren el funcionamiento de la infraestructura hidrosanitaria existente. La arquitectura y el urbanismo deben considerar estos aspectos antes de llevar a cabo la planeación urbana y la instalación de nuevos desarrollos que pueden afectar en ocasiones irremediablemente el funcionamiento de los sistemas natural y artificial del agua.

Como se pudo apreciar, si el deterioro del ciclo del agua es el principal problema que se debe resolver, es prioritaria la restauración de sus variables en el diseño, la instrumentación y la evaluación de las políticas públicas del agua. Basados en los conceptos WSUD (2014), Low Income Development (U.S. Department of Housing and Urban Development, 2003) y Best Management Practices (United States Environmental Protection Agency, 1993), el autor define la restauración del ciclo del agua en zonas urbanas como el proceso mediante el cual se restablecen de manera parcial las variables del ciclo del agua por medio de:

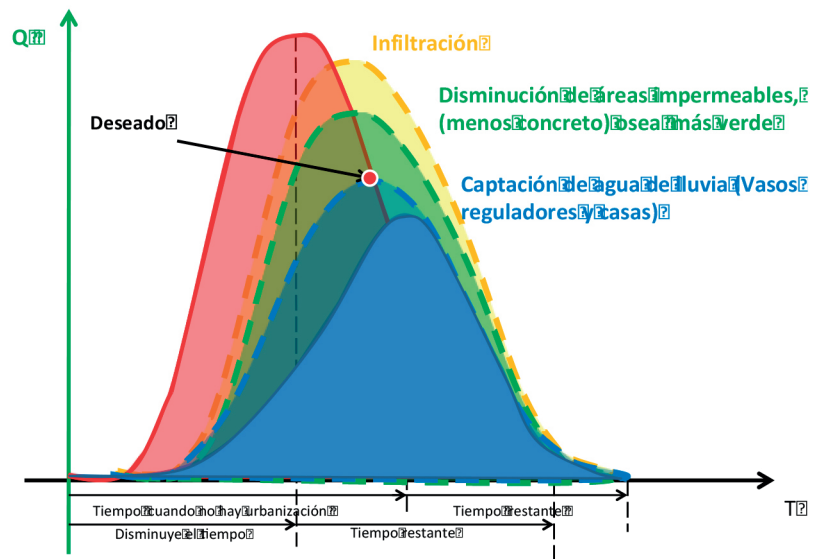
- a) Disminuir las áreas impermeables tales como las superficies de concreto en los techos y avenidas mediante la instalación de techos verdes en las azoteas, la utilización de los camellones para reparar de forma parcial la variable de infiltración y paliar el problema de inundaciones.
- b) Restauración de zonas de recarga que han sido afectadas por la urbanización para restaurar los índices de infiltración y recuperar los volúmenes de agua subterránea. De esta manera, se pretende garantizar la disponibilidad de agua para las presentes y futuras generaciones.
- c) Reforestación de la ciudad mediante la siembra de árboles, arbustos u otras especies para recuperar los índices de evapo-transpiración y la presencia de precipitaciones. Además, por medio de los árboles se puede recu-

rar de forma parcial la infiltración de agua al subsuelo por sus raíces. Así, también, gracias a esta estrategia se contrarrestan la erosión y el proceso de desertificación.

- d) La instalación de sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) en los edificios que permitan el almacenamiento y su utilización para consumo humano y así coadyuvar a la oferta de agua y a la menor demanda de las fuentes actuales. Si el suelo permite la infiltración, los excedentes que no caben en la cisterna pueden conducirse a una estructura de infiltración que lleve el agua hacia el acuífero.
- e) La separación de colectores de aguas negras y pluviales que facilite que los segundos conduzcan el agua a vasos reguladores o que faciliten la restauración de ríos entubados.
- f) La rehabilitación o sustitución parcial o total de colectores para mejorar su capacidad de conducción y evitar las fugas de aguas negras a los acuíferos.
- g) La instalación de sistemas de tratamiento de aguas negras por micro cuencas para diferenciar los contaminantes y definir el tipo de tratamiento más adecuado que reduzca los índices de contaminación de agua.

Esta serie de acciones tiene que estar incluida en un plan integral para llevarla a cabo de forma ordenada. En la Figura 14, que es un esquema cualitativo, se muestra una curva azul que presenta el escurrimiento ( $Q$ ) antes de la urbanización. Se observa que el pico lo alcanza en determinado tiempo y después disminuye cuando la lluvia cesa. Pero cuando la urbanización crece, el escurrimiento ( $Q$ ) aumenta y es representado por la curva roja, además se observa que el pico se alcanza en poco tiempo y se acumulan más aguas pluviales. Sin embargo, el pico de la curva roja puede disminuir con la infiltración al haber menos áreas impermeables y con la captación del agua de lluvia en casas o espacios públicos hasta llegar al punto rojo.

Como se puede observar en la Figura 14, con estas estrategias se puede restaurar parcialmen-

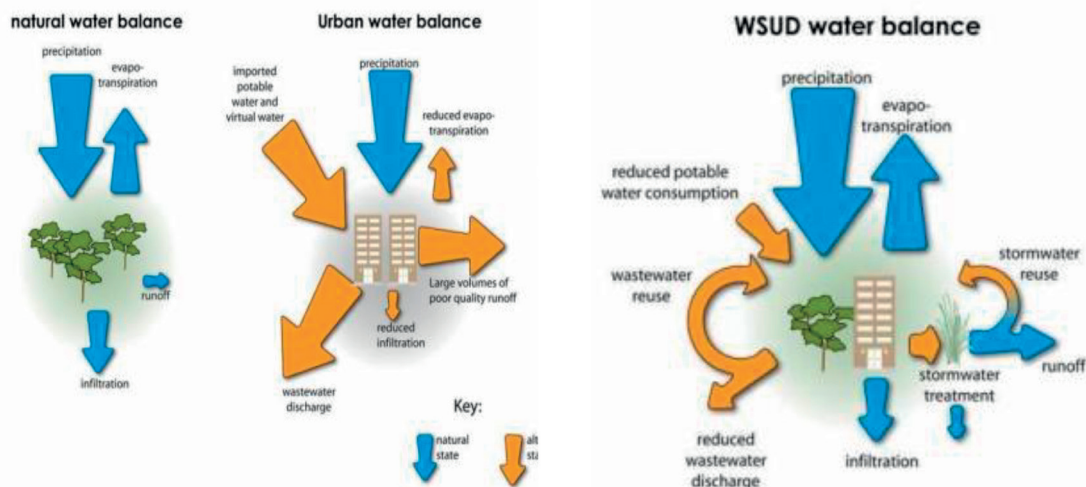


**FIGURA 14.** Restauración de la cuenca por medio del hidrograma. Fuente: elaborado por el autor.

te el ciclo del agua y reducir el pico de la curva hasta llegar casi al pico que corresponde antes de la urbanización.

Como ya se dijo, este enfoque de la restauración del ciclo del agua en cuencas urbanas tiene sus fundamentos teóricos en conceptos como WSUD (2014), LID (U.S. Department of Housing and Urban Development, 2003) y BMP (United States Environmental Protection Agency, 1993). Estas aportaciones teóricas tienen como eje de acción principal el balance de las variables del

ciclo de agua. En la Figura 15 se puede observar la aplicación del WSUD en una cuenca, y en la 15a se muestran los balances natural y urbano de agua, sobresaliendo en este último las importaciones de otras cuencas y el agua virtual (cantidad de agua utilizada de modo directo e indirecto para la realización de un bien, producto o servicio), la reducción de la evapo-transpiración, el crecimiento de los grandes volúmenes de escurrimientos (*runoffs*), la reducción de la infiltración y la descarga de aguas negras (*wastewater*).



a) Balance de agua en condiciones naturales y urbanizadas.

b) Balance de agua aplicando el WSUD.

**FIGURA 15.** Modificaciones del balance hídrico aplicando el WSUD. Fuente: Hoban y Wong, 2006.

En la figura 15b se observan las modificaciones en el balance del agua por la instrumentación del WSUD mediante la reducción del consumo, el aumento de la evapo-transpiración, el re-uso de aguas negras y la reducción de su volumen, el aumento de la infiltración y el tratamiento de las aguas pluviales, así como su re-uso. Con estas acciones se puede observar que el manejo del ciclo del agua es una medida que debe realizarse de manera integral antes de considerar traer más agua de otras cuencas o drenar las aguas pluviales sin ningún tipo de tratamiento. La prioridad es restaurar el deteriorado ciclo del agua en las cuencas urbanizadas de forma desordenada y sin control.

Por otro lado, en materia de normatividad para garantizar la protección del ciclo del agua y la no afectación al sistema hidrosanitario urbano, se propone que para la autorización de la construcción de algún desarrollo vertical u horizontal se tome en cuenta lo siguiente.

#### *A) REQUISITOS PARA LA VIABILIDAD EN SISTEMA NATURAL (CICLO DEL AGUA)*

1. Estudio de la disponibilidad de suministro de agua (sistema de monitoreo).  
Normalmente las agencias de gobierno cuentan con estos datos. Como ya se comentó, no existen sistemas de medición. Sin embargo, es un requisito fundamental saber si hay o no agua para suministro. Este requisito tiene mayor sentido si se cuenta con el sistema de medición que eventualmente otorgue la información en tiempo real.
2. Revisión del uso del suelo que garantice que no se construya en zona de recarga acuífera. Existen disposiciones legales y estudios previos que señalan las zonas de recarga. Debe garantizarse que los predios donde se pretenda construir no sean zonas de recarga.
3. Estudio hidrológico a escalas de cuenca, sub-cuenca y micro cuenca.  
Es necesario determinar el comportamiento del ciclo del agua en los predios que se pretenda utilizar. Dependiendo de la magnitud

del proyecto deberá realizarse el estudio hidrológico para reconocer la situación hidrológica actual.

4. Simulación del sistema hidrológico en condiciones naturales.  
Deberá realizarse una simulación del comportamiento de los escurrimientos en condiciones naturales a través de personal especializado que determine las acciones pertinentes y las que deben evitarse.
5. Simulación de la nueva propuesta de urbanización que considere los aspectos hidrológicos y garantice su funcionamiento óptimo.

La nueva urbanización debe ser validada por una simulación que muestre que las condiciones del ciclo del agua no se vean sensiblemente afectadas a tal grado de poner en riesgo la integridad física de las personas y los ecosistemas.

#### *B) REQUISITOS PARA LA VIABILIDAD EN SISTEMA ARTIFICIAL*

1. Simulación del sistema de suministro actual si es que hay asentamientos urbanos previos. Se entiende por sistema de suministro actual, las fuentes, los tanques reguladores y red distribución. Es necesario saber cómo funciona el sistema para reconocer sus condiciones actuales; además, será necesario validar esta simulación con un estudio de campo.
2. Simulación de la nueva propuesta del suministro del nuevo desarrollo.  
Una vez realizada la simulación del sistema actual de suministro, debe ahora llevarse a cabo una que muestre el funcionamiento del sistema con el nuevo desarrollo, que garantice el suministro de agua a los antiguos y nuevos vecinos.
3. Simulación del sistema sanitario actual.  
Debe reconocerse el funcionamiento en las condiciones actuales del sistema sanitario urbano. Esta simulación debe contener los datos de la infraestructura. Incluye el estudio topográfico y el inventario de la infraestructura vigente.



4. Simulación de la nueva propuesta del sistema sanitario del nuevo desarrollo.  
Si se pretende urbanizar la zona, debe presentarse la simulación del comportamiento de la nueva propuesta sanitaria que asegure su buen funcionamiento y evite posibles afectaciones, como saturación de las tuberías, taponamientos y malos olores.
5. Simulación de la propuesta de manejo de aguas pluviales que preserve la seguridad de la población y el funcionamiento del ciclo del agua.  
Este requisito cobra mayor relevancia, ya que no sólo debe presentarse una propuesta que garantice la seguridad de las personas y la preservación de los ecosistemas, sino que debe simularse este escenario con la instrumentación de sistemas tecnológicos tales como: sistemas de captación de agua de lluvia, sistemas de infiltración y de regulación de escurrimientos.

Con estas disposiciones se pretende asegurar que el ciclo del agua no se vea más afectado, sino todo lo contrario, se busca que sea restaurado en cierta medida. Además se pretende con estas acciones garantizar el buen funcionamiento del sistema hidrosanitario para que pueda otorgar servicios a la comunidad establecida y a los nuevos desarrollos. Es necesario mencionar que con estas aportaciones se trata de establecer las bases de un nuevo ordenamiento territorial en función de la preservación del agua como eje central de las nuevas urbanizaciones, lo que no se contempla en ninguna normatividad en México.

## CONCLUSIONES

Después de la exposición de las evidencias del problema de agua en las ciudades, se puede concluir que tanto la arquitectura como el urbanismo deben cambiar su percepción acerca de lo que significa el agua. Tradicionalmente el agua es vista más como un recurso, que como un sistema integral llamado ciclo del agua. Es necesario ver el

agua desde una perspectiva sistémica y no aislada. El aseguramiento de la vitalidad del ciclo del agua debe ser una prioridad en la planeación urbana, por lo tanto, es necesario instrumentar políticas públicas que permitan la restauración del ciclo dañado, así como su pronta restauración.

Las consecuencias más comunes de no respetar al ciclo del agua son: las inundaciones, la disminución de la infiltración de agua al subsuelo y, por lo tanto, la sequedad de los acuíferos, la reducción de la evapo-transpiración que propicia la precipitación, el aumento de la temperatura por la falta de vegetación y, finalmente, todo esto conduce a las cuencas a la desertificación.

Así también, la arquitectura y el urbanismo deben considerar que sus nuevos desarrollos se integran a sistemas hidrosanitarios urbanos instalados que fueron previamente diseñados con ciertos parámetros específicos y que al conectar sus nuevos desarrollos afectan su funcionamiento.

Las consecuencias más frecuentes en materia de abastecimiento de agua son: la irregularidad del servicio de agua potable por el aumento de las demandas no planeadas que reducen la presión y el caudal de abastecimiento, la sobre-explotación de las fuentes actuales de suministro. Por lo que toca al sistema sanitario urbano, las consecuencias más comunes son la saturación de las tuberías por la sobre-carga por los nuevos caudales de aguas negras que no se previeron que, incluso, pueden llegar a regresar al interior de las edificaciones; así como las inundaciones en la zona por la presencia de los nuevos escurrimientos pluviales que se producen por la construcción de más áreas impermeables.

De tal manera que la arquitectura y el urbanismo deben ser más sensibles al funcionamiento de los sistemas natural y artificial del agua. Debe abandonarse la idea de que lo que más importa es el proyecto, que si bien legítimamente busca satisfacer una necesidad, no debe comprometer la seguridad de las personas y la sustentabilidad de los ecosistemas. Por lo tanto, la arquitectura y el urbanismo deben profundizar en el conocimiento de las propuestas técnicas que tienen el objetivo de restaurar y conservar el ciclo del agua, y que

tienen directos vínculos con el paisajismo que ayuda a mejorar el espacio público. En la planeación urbana se deben diseñar las normatividades técnicas que promuevan el buen funcionamiento de los sistemas hidrosanitarios a escala urbana cuando se pretenda la instalación de nuevos edificios. En la arquitectura debe considerarse la instalación de sistemas hidrosanitarios que sean sensibles al entorno y que busquen el aprovechamiento sustentable del agua dentro de los edificios. Si los edificios son diseñados con sistemas de agua sustentables, la naturaleza se verá menos afectada. Así pues, existe una agenda pendiente que pueda marcar las directrices para diseñar e instrumentar normas técnicas que faciliten el correcto funcionamiento del sistema natural (ciclo del agua) y del sistema artificial (hidrosanitario urbano).

La arquitectura y el urbanismo deben entender que el agua es la vida, sin ella todo lo que conocemos se muere. Por lo que es necesario un cambio de actitud en la manera de diseñar las ciudades y sus edificaciones, deben ser más amables con el agua, los diseños urbanos y arquitectónicos deben integrarse al entorno sin violencia. Deben ser facilitadores de la preservación de la vida y facilitar a las nuevas generaciones un desarrollo sustentable.

## REFERENCIAS

- Aparicio, F. (1996). *Fundamentos de hidrología de Superficie*. Limusa. Guadalajara.
- Castillo, A. y S. Hernández (4 de noviembre de 2011). “Exige Zapopan sanciones severas por descargas de aguas negras a cielo abierto”. *Periódico Milenio*.
- CNN (Jueves 1 de julio de 2010). El huracán Alex deja más lluvia que Gilberto: Conagua. Expansión en alianza con CNN. Recuperado de <http://expansion.mx/nacional/2010/07/02/el-huracan-ale-deja-mas-lluvia-que-gilberto-conagua> 29 de septiembre de 2016.
- Gleason, J. (2014). *Sistemas de agua sustentables en las ciudades*. Trillas. México.
- Hoban, A., y T.H.F. Wong (2006). Urban Water Cycle “WSUD resilience to Climate Change”, 1st International Hydropolis Conference, Perth WA, October 2006. <http://www.wsud.org/wp-content/uploads/2012/07/WSUD-Introductory-Presentation.pdf> Recuperado de 29 de septiembre de 2016.
- Martínez, A. (11 de abril de 2010). “Advierten de daños a acuífero Atemajac”. *Periódico Mural*.
- Ornelas, V. (2 de febrero de 2011). ¿Dónde está el agua? La verdad periodismo libre de Tlajomulco. Recuperado de <http://laverdaddetlajomulco.blogspot.mx/2011/02/donde-esta-el-agua.html> el 29 de septiembre de 2016.
- United States Environmental Protection Agency (1993). Guidance Manual for developing. Recuperado de <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/owmo274.pdf> 29 de septiembre de 2016.
- UNESCO (2015). *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable world*. UN-Water. Paris, France.
- U.S. Department of Housing and Urban Development (2003). The Practice of Low Impact Development. Recuperado de <https://www.huduser.gov/portal/publications/pract-LowImpctDevel.pdf> 29 de septiembre de 2016.
- WSUD (2014). Water Sensitive urban Design in Sydney. Recuperado de <http://www.wsud.org/> 29 de septiembre de 2016.