

Manejo del drenaje pluvial mediante control de la fuente de escurrimientos superficiales

Martha Susana Rosales Morales¹, Dr. Jorge A. Salas Plata M.² Mtro. Alberto Rodríguez Esparza³

¹Estudiante del programa de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

^{2,3}Docente del programa de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

Las zonas urbanas que carecen de planificación y urbanización eficiente que incluya el diseño y construcción de sistemas de drenaje pluvial, enfrentan inundaciones que pueden ser mínimas o graves y pueden significar costos a la población y a las instituciones públicas y privadas, por el daño a la infraestructura. Conforme la sociedad y la tecnología avanzan, los ingenieros se enfrentan a retos de salubridad y de suministro de una infraestructura hidráulica urbana sostenible. El uso de nuevas tecnologías ayuda considerablemente a resolver los problemas más urgentes de drenaje pluvial. Este artículo aborda el tema de las inundaciones y sus efectos y sugiere el acopio de los escurrimientos en su fuente, es decir, mediante diques. Se llevarán a cabo estudios de campo y SIG para ubicar los mejores sitios de acopio que a su vez ayuden a la recarga del acuífero.

Palabras clave: Obras hidráulicas, inundaciones, planeación urbana, drenaje urbano, riesgo de inundación.

Introducción

Históricamente, los sistemas de drenaje urbano han sido vistos desde varias perspectivas. En diferentes periodos y lugares distintos, estos desagües han sido considerados como un recurso importante, un mecanismo conveniente de limpieza citadina, un medio eficiente de transporte de desechos, una solución al problema de las inundaciones y una reducción de las molestias por las aguas residuales sin control que son transmisoras de enfermedades. En general, el clima, topografía, geología, conocimiento

científico, ingeniería, capacidades de construcción, valores sociales, creencias religiosas y otros factores, han influenciado la configuración local del drenaje urbano (Burian, Edwards, & G, 2002).

El drenaje urbano debe diseñarse para poder transportar dos tipos de líquidos: aguas residuales y pluviales. Las aguas residuales son líquidos provenientes del uso doméstico y comercial o de procesos industriales, entre otros, y deben ser recolectados y dispuestos de manera apropiada para evitar condiciones que

propicien la contaminación. Después de una inundación, el volumen de residuos que se generan a menudo es importante y de una especie diferente (residuos húmedos mezclados, incluso contaminados) (Beraud, Barroca, Serre, & Hubert, 2011).

Los sistemas de drenaje deben cumplir las siguientes tareas fundamentales de interés público:

- Asegurar una recolección segura e higiénica y transporte de todo el alcantarillado sanitario incluyendo aguas residuales domésticas e industriales.
- La protección de áreas densamente urbanizadas contra inundaciones.
- La protección de los receptores contra daño ambiental.

Las aguas pluviales son las escorrentías producto de la precipitación. Se toman en cuenta tanto las aguas residuales

como las pluviales durante la planificación del sistema de drenaje urbano. A través de la historia, varias civilizaciones (entre ellas la hindú y la minoica) evidencian que los sistemas urbanos de drenaje fueron construidos con gran cuidado y que el objetivo de estos era el de coleccionar las aguas residuales y pluviales, las cuales se mezclaban en un solo conducto o bien se mantenían separadas durante la recolección y eliminación.

De forma ideal, los sistemas de drenaje se diseñan, construyen y modernizan con base a la planeación y ordenamiento territorial de la ciudad; en la práctica, las actividades anteriormente mencionadas se llevan a cabo en respuesta a los cambios de la escorrentía urbana con modificaciones en base a prueba y error.

Diseño de sistemas de drenaje pluvial

Los sistemas de drenaje urbanos están principalmente diseñados para que los conductos subterráneos no se vean afectados por los flujos de superficie durante una tormenta con determinado periodo de retorno. La modelación de un sistema de drenaje pluvial se basa en la descomposición del proceso en subprocesos como: intercepción (principalmente de depresiones superficiales), infiltración, flujo sobre la superficie, flujo a lo largo de la calle (flujo de cuneta), flujo en estructuras de entrada y flujo en redes de alcantarillado.

Una de las mayores deficiencias en el diseño del drenaje urbano en la actualidad es la complejidad para modelar el proceso de inundación. Por ejemplo, cuando un sistema subterráneo está lleno, y fue delineado para conducir aguas residuales, el agua que sale del sistema interfiere con el agua que fluye superficialmente porque no hay más capacidad de transporte del sistema de alcantarillado.

El concepto de drenaje doble permite que las inundaciones en un ambiente urbano sean modeladas más realísticamente tomando en cuenta todas las características del terreno y las estructuras

hechas por el hombre que afectan la escorrentía superficial.

La gestión de aguas pluviales ha estado enfocada en resolver problemas de inundación transfiriendo grandes volúmenes de agua lo más rápido posible. Esto aumenta inevitablemente el volumen y descargas máximas causando daños no sólo a los tramos aguas abajo, sino también a los cuerpos receptores naturales, así como al ambiente en su conjunto. El control de la fuente es una estrategia alternativa que trata de emular las condiciones naturales de captación y así adelantarse o revertir las consecuencias negativas. La filosofía general es reducir y atenuar los flujos de la tormenta antes que lleguen a la red de drenaje y mejorar la calidad del agua permitiendo que tome lugar un tratamiento natural (Maksimovic & Prodanovic, 2001).

En adición a la reducción de los riesgos de inundación, deben ser diseñados y operados sistemas modernos de drenaje pluvial de manera que también contribuyan a la reducción de la contaminación y al mejoramiento del equipamiento urbano. Al parecer, el nivel al que estos aspectos pueden ser abordados y aplicados con éxito depende del desarrollo económico del país.

La prevención de inundaciones en zonas urbanas causadas por los sistemas de alcantarillado inadecuados se ha convertido en una cuestión importante. Los sistemas de drenaje urbano deben funcionar con eficacia de acuerdo con las condiciones climáticas y los sistemas de drenaje diseñadas para hacer frente a las condiciones de tormenta más extremas, aunque estos suelen ser demasiado caros de construir y operar (Schmitt, Schilling, Sægrov, & Nieschulz, 2002). Algunos ejemplos de obras hidráulicas se pueden ver en la Tabla 1.

Modelo de sociedad	Obras hidráulicas
Sociedades tradicionales	<ul style="list-style-type: none"> — Acequias, canales y otras infraestructuras de regadío — Pequeñas presas — Motas y diques laterales — Desviación ocasional de algún tramo del curso fluvial — Eliminación puntual de algún meandro del curso fluvial
Sociedades modernas «tecnificadas»	<ul style="list-style-type: none"> — Canalizaciones — Embalses — Diques — Desvíos — Cubrimiento — Sistema de evacuación de aguas pluviales
Sociedades modernas «ambientalizadas»	<ul style="list-style-type: none"> — Eliminación de las obras hidráulicas «duras» — Planificación de los usos del suelo en los espacios inundables

Tabla 1: Evolución de las obras hidráulicas de defensa frente a las inundaciones. Fuente: (Roset Pagès, Saurí Pujol, & Ribas Palom, 2010)

El riesgo de inundaciones en las zonas urbanas provocado por la urbanización y el cambio climático significan un problema para el ciudadano, la comunidad, y requiere de un sistema de información flexible que se puede configurar en un sistema de gestión eficaz.

Deben tomarse numerosas decisiones complejas para expandir los sistemas de drenaje y controlar los niveles de contaminación; dichas decisiones deberán ser pensadas y ejecutadas con un enfoque económico, social y ambientalmente sustentable (Milina, Nieschulz, Selseth, & Schilling, 2001).

Diques de almacenamiento

Los efectos que puede tener el agua pluvial pueden ser devastadores o por el contrario, pudiesen llegar a ser enriquecedores y ello dependerá en gran medida del control que se tenga sobre ella en la etapa de captación durante la precipitación. El diseño y construcción de represas o diques para lograr manipular la precipitación fluvial que logre darle un impacto benéfico o simplemente menos catastrófico a las zonas urbanas debe ser percibido como un “proceso de urbanización de la naturaleza para reproducir el metabolismo de las ciudades en el desarrollo de la modernización” (Romero Toledo, 2014)

Los diques permitirán un manejo más eficiente de la captación fluvial obtenida, mejorando su transporte. Las represas

pueden ser consideradas entonces como un símbolo de progreso tecnológico en la naturaleza y su construcción representa una transformación crucial para las zonas urbanas. Estas generan también cambios en las estructuras económicas y políticas debido a la modificación del paisaje, la escala de la represa y los cambios planeados en el régimen del flujo de las cuencas fluviales.

Los impactos que puede tener la construcción de represas para así contrarrestar los efectos desastrosos que llegaría a tener una tormenta extrema en la zona urbana es hasta el momento solo un proyecto de investigación que merece ser considerado y sus efectos aún no pueden ser evaluados.

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Se debe considerar un enfoque integral para lograr la reducción de pérdidas por las

inundaciones, así como los requisitos para el diseño de un sistema de gestión de

modelos proactivos. Se puede incluir también un modelado de simulación hidráulica completa de un sistema de drenaje urbano, el sistema de alcantarillado y la superficie bajo un flujo sobrecargado utilizando nuevos métodos numéricos junto con técnicas de SIG.

El desarrollo de SIG marcó el comienzo de una revolución en el espacio de representación de datos, recolección, almacenamiento, gestión, análisis y modelado.

Los efectos del vínculo de los SIG con el análisis espacial han hecho su mayor progreso en el área de modelación ambiental tales como el modelado hidrológico en las grandes cuencas fluviales (Milina, Nieschulz, Selseth, & Schilling, 2001).

La evolución que han tenido las obras hidráulicas puede demostrar la importancia que estas obras tienen como dispositivos contra las inundaciones. A medida que la tecnología avanza en materia ingenieril podemos ver que también avanzan los diseños hidráulicos y el uso de nuevos materiales (Roset Pagès, Saurí Pujol, & Ribas Palom, 2010).

La complejidad inherente al riesgo de inundación requiere involucrar otras instancias para su análisis, además de lo científico-técnico, que se vincula directamente con el estudio de las causas inmediatas del desastre. Para ello, el riesgo puede descomponerse en cuatro dimensiones solo diferenciables en términos analíticos: peligrosidad, vulnerabilidad, exposición e incertidumbre.

La *peligrosidad*, o amenaza, se refiere al potencial peligroso propio de los fenómenos naturales y de los procesos tecnológicos. Cada peligrosidad tiene detalles propios, por lo que su estudio requiere conocimiento experto proveniente de los campos de las ciencias físicas, básicas y naturales, para analizarla y tratar de predecir su comportamiento.

La *incertidumbre* tiene que ver con las dimensiones no cuantificables del riesgo, con lo desconocido. Estamos frente a situaciones que no pueden resolverse a partir del conocimiento existente pero que requieren de una solución inmediata por la importancia de los valores en juego (vidas humanas, bienes materiales). Por eso, la incertidumbre tiene, al menos, dos dimensiones:

a) una *técnica*, que se refiere a la falta de respuestas concluidas desde el saber científico y técnico respecto a las características de las amenazas y de la sociedad impactada, y

b) una *política*, que se refiere a la necesidad de tomar decisiones aun cuando no se tengan certezas desde el conocimiento experto.

El reconocimiento de estas carencias hace que se vuelva central la incorporación a la toma de decisiones de todos los actores sociales que se encuentran expuestos al riesgo, quienes no solo sufren las consecuencias de los desastres sino que también son, por lo general, los que mayores aportes pueden hacer para reducir los márgenes de incertidumbre.

La peligrosidad y la exposición han recibido mayor atención desde el saber

científico: la primera en el ámbito de las ciencias físicas, naturales e ingenieriles, mientras que la segunda tiene su abordaje más común desde las ciencias de la planificación territorial (estudios de usos del suelo, de distribución y localización de la población en el territorio, etc.). La vulnerabilidad y la incertidumbre, ancladas en los procesos sociales, económicos y políticos, son las dimensiones de menor desarrollo relativo y, sin embargo, son las que se pudieran considerar con un mayor aporte pueden hacer a la gestión del riesgo (Roset Pagès, Saurí Pujol, & Ribas Palom, 2010).

La sedimentación es el resultado, en gran medida, de los fenómenos de erosión que se debe, en algunos casos, a la falta de medidas para la conservación de la cobertura vegetal de las cuencas hidrográficas. En estas condiciones, los

lechos de los ríos de las cuencas sufren un proceso continuo y progresivo de azolvamiento, lo cual por una parte disminuye la sección del cauce y reduce la capacidad del río para conducir grandes caudales, y por otra parte, provoca cambios en el curso de los afluentes y ramales principales del sistema fluvial. Otros factores son los siguientes:

- La pobre protección de las laderas en algunas zonas de riesgo sometidas a las inundaciones.
- El insuficiente drenaje de los suelos de la zona alta de las cuencas originado por la propia estructura de los mismos que infiltran poco y escurren casi toda la precipitación.
- La considerable obstrucción de los cauces en algunas zonas (Sagrera Díaz, Soler Guitart, & Sánchez Juny, 2012).

Efectos de la urbanización

El desarrollo de las áreas urbanas afecta significativamente el ciclo hidrológico natural con lo que esta afectación es consecuencia de la concentración de la población en una región. El principal factor de cambio es el proceso de urbanización que evoluciona en varias etapas en el desarrollo de una ciudad. Algunos de estos cambios han propiciado a lo largo de la historia el desarrollo de infraestructuras en beneficio de esta población, para mejorar la calidad de vida de sus habitantes, entre ellas, infraestructura para desalojar tanto las aguas residuales como las aguas pluviales.

Las inundaciones en el medio urbano son fenómenos que generalmente se caracterizan por su corta duración y por los efectos devastadores debido a la alta concentración de personas, viviendas y bienes localizados en estas áreas. En casos de inundaciones producidas por eventos de lluvias excesivas, los caudales de escorrentía pueden circular por las calles de las ciudades de forma incontrolada si el sistema de drenaje superficial o subterráneo es insuficiente, generando condiciones de inseguridad para la circulación vehicular y

peatonal (Gomez, Macchionez, & Russo, 2010)

Actualmente, se tiene alguna experiencia sobre la recarga en áreas urbanas y la existencia de diferentes fuentes de recarga como son: infiltración en grietas, sumideros de agua pluvial, filtración de pozos negros, estanques, letrinas, red de alcantarillado y fugas del sistema de suministro, complican el escenario para determinar un volumen aproximado a la realidad (Dávila Pórcel & De León Gómez, 2011) (Aragón Hernández, 2013).

En el plan de ordenamiento y manejo de una microcuenca se definen las acciones concretas para la protección y la gestión de los recursos naturales, partiendo de la realidad de la microcuenca y construyendo acciones de futuro acordes con las intenciones concertadas de los actores en cinco fases: diagnóstico; prospectiva; formulación; ejecución; seguimiento y evaluación (Barros & Vallejo, 2007).

Por otra parte, el desarrollo de las áreas urbanas conlleva, por un lado, un incremento de áreas impermeables y, por el otro, una disminución de áreas verdes. La modificación de las características del terreno natural original, tiene como resultado cambios extremos en la respuesta hidrológica de la cuenca ante un evento de lluvia. La impermeabilización del terreno natural desde el punto de vista hidrológico,

implica disminuir la retención superficie temporal del agua, la infiltración y la fricción del terreno. Esta dinámica da como resultado un aumento de volúmenes de escurrimiento y de las velocidades de los flujos de agua y disminución del tiempo de concentración.

El cambio en la respuesta hidrológica es incrementado como consecuencia de un criterio tradicional aún presente en muchos procesos de urbanización: las aguas pluviales deben ser evacuadas de la superficie de los tejados y las calles lo más eficaz y rápidamente posible. Cuando este crecimiento continúa, sobre todo en las cuencas de cabecera, las calles y la red de alcantarillado presentan hidrogramas con mayor volumen y gastos pico más elevados, provocando problemas de inundación en las zonas más bajas, debido a que la capacidad de los elementos del drenaje urbano es insuficiente (Aragón Hernández, 2013).

La concentración de la población en las ciudades provoca un progresivo aumento de la complejidad del diseño de la infraestructura en particular las relacionadas con la gestión del agua en la ciudad, entre ellas, el drenaje urbano. En ocasiones, los sistemas de drenaje urbano presentan importantes problemas y carencias que se ponen de manifiesto en forma de inundaciones.

Metodología

Para la búsqueda de literatura que fue de ayuda para el presente artículo, se definió primero el tema y con base a él se tomaron en cuenta algunas palabras clave que podrían ser de utilidad a la hora de empezar la investigación.

Se inició con el acceso a la base de datos de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) por ser la institución más cercana para el acopio de información. Durante la búsqueda de artículos electrónicos se pudo detectar que la cantidad de estos era inmensa, y se tuvo que filtrar el listado de documentos de acuerdo a los títulos que parecían más indicados en cuanto al tema propio. Se descargaron los artículos electrónicos y se guardaron para su posterior revisión. Debido a la cantidad menor de artículos en inglés se optó por acudir a la base de datos con la que cuenta la Universidad de Texas en El Paso (UTEP). Al contar con acceso a esta base de datos se tuvieron que seleccionar cuidadosamente también algunas palabras clave para poder iniciar la búsqueda. La gran mayoría de los

artículos electrónicos que aparecieron provenían de la página web American Society of Civil Engineers (ASCE), con lo que se pudo determinar que esta es una fuente de gran utilidad debido a la índole del tema escogido. Una vez que se contaron con una gran cantidad de artículos electrónicos se inició la revisión completa de cada uno de ellos y la realización de un resumen sobre las ideas más importantes que fueran de utilidad y relevancia para el artículo. Una vez terminada la revisión de la literatura se procedió a vaciar la información en un documento que tuviera coherencia incluyendo no solo las ideas de los autores sino también las interpretaciones propias de dichos artículos. Se analizó que el documento redactado tuviera una secuencia lógica y una idea clara de lo que se pretendía comunicar.

Para la ubicación de los puntos de embalse se realizarán visitas de campo y se obtendrán datos del Centro de Información Geográfica del IIT-UACJ.

Conclusiones

Los efectos devastadores de una inundación en un ámbito urbano pueden llegar a prevenirse si tales zonas contaran con un buen sistema de drenaje que permita al agua fluvial desembocar en los lugares diseñados y planeados para tal fin. Y aunque la ejecución de tales obras puede llegar a ser costosa, suele ser más costoso aun el escenario donde una inundación cobra vidas

humanas y daños materiales cuantiosos. Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta que nos permite modelar y analizar situaciones de inundaciones y así poder encontrar un diseño que desempeñe mejor todos los aspectos que requeridos para que funcione efectivamente. Las decisiones que se tomen sobre las obras hidráulicas que protejan los intereses antes

mencionados deben tomarse con un enfoque económico, social y ambientalmente sustentable.

El embalse del agua mediante diques, puede significar una solución viable

al problema de las inundaciones en la ciudad, a la vez que una forma de propiciar la recarga de los acuíferos.

Referencias

Andoh, Robert Y.G.; (2002): Urban drainage and wastewater treatment for the 21st century: pp 1-16. American Society of Civil Engineers.

Aragón Hernández, José Luis (2013): Modelación numérica integrada de los procesos hidráulicos en el drenaje urbano: pp 292. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Tesis Doctorals en Xarxa.

Barros, Juan Fernando; Vallejo, Luz Eliana; (2007): Metodología para la evaluación de la condición de corrientes urbanas. Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq No.7 Envigado Jan./June 2007 ISSN 1794-1237.

Beraud, Hélène; Barroca, Bruno; Serre, Damien; Hubert, Gilles; (2011): Making urban territories more resilient to flooding by improving the resilience of their waste management network. A methodology for analyzing dysfunctions in waste management networks during and after flooding: pp. 425-432. Université Paris Est – Marne la Vallée, Leesu Umr Ma 102 EIVP (École des Ingénieurs de la Ville de Paris). American Society of Civil Engineers.

Burian, Steven J.; Edwards, Findlay G.; (2002): Historical perspectives of urban drainage: pp 1-16. American Society of Civil Engineers.

Dávila Pórcel, Rene Alberto; De León Gómez, Héctor (2011): Importancia de la hidrogeología urbana; ciencia clave para el desarrollo urbano sostenible. Boletín de la Sociedad

Geologica Mexicana. Vol. 63 No. 3, Diciembre 2011.

Fujita, Shoichi; (2002): A scenario for the modernization for urban drainage: pp 1-11. American Society of Civil Engineers.

Gomez, Manuel; Macchionez, Francesco; Russo, Beniamino (2010): Modelo físico para el estudio de los criterios de riesgo en zonas urbanas: pp 1-13. Congreso Latinoamericano de Hidráulica. "XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica". Punta del Este.

González, Silvia G (2005): Ciudad visible versus ciudad invisible; La gestión del riesgo por inundaciones en la ciudad de Buenos Aires: pp. 53-67. Territorios 13 / Bogotá.

Hettiarachchi, Suresh L.; Luft, Anthony J, Onorati, Jane; (2004): An innovative and multi-faceted approach to reducing urban flooding. City of Minneapolis Public Works Department: pp 1-6. American Society of Civil Engineers.

König, Axel; Sægrov, Sveinung; Schilling, Wolfgang; (2002): Damage assessment for urban flooding: pp 1-11. American Society of Civil Engineers.

Maksimovic, Cedo; Prodanovic, Dusan; (2001): Modelling of urban flooding – Breakthrough or recycling of outdated concepts: pp 1-9. Urban water research group, EWRE section, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial

college of STM, London SW7 2BU, UK. American Society of Civil Engineers.

Milina, Jadranka; Nieschulz, Klaus-Peter; Selseth, Ingrid; Schilling, Wolfgang (2001): A proactive approach to flood risk management in urban drainage systems: pp. 358-366. American Society of Civil Engineers.

Reeves, Mike; Lewy, Mark; (2001): Modelling of groundwater infiltration in urban drainage networks: pp 1-11. American Society of Civil Engineers.

Romero Toledo, Hugo (2014); Ecología política y represas: elementos para el análisis del Proyecto HidroAysén en la Patagonia chilena. Revista de geografía Norte Grande No.57, Mayo 2014. ISSN 0718-3402.

Roset Pagès, Dolors; Saurí Pujol, David (2010); Ribas Palom, Anna: Las obras hidráulicas en

los sistemas fluviales de la Costa Brava: Preferencias locales y limitaciones de un modelo convencional de adaptación al riesgo de inundación: pp 79-93. Investigaciones geográficas, No. 22.

Sagrera Díaz, Albert; Soler Guitart, Joan; Sánchez Juny, Martí (2012): Análisis de inundaciones. Estudio de casos (Tesis). Universitat Politècnica de Catalunya.

Schmitt, Theo G.; Schilling, Wolfgang; Sægrov, Sveinung; Nieschulz, Klaus-Peter; (2002) Flood risk management for urban drainage systems by simulation and optimization: pp 1-14. Global Solutions for Urban Drainage. American Society of Civil Engineers.

Zio, Enrico; (2014): Vulnerability and risk analysis of critical infrastructures. Vulnerability, Uncertainty and Risk: pp 23-30. American Society of Civil Engineers.