SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIIBLE

MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

Presentado por:
D. ZEYU XUE

Dirigido por:
D. Juan Antonio Pascual Aguilar
Dª Irene de Bustamante Gutiérrez

Alcalá de Henares, 22 de mayo de 2020

ÍNDICE

Resumen ... 1
Palabras clave ... 1
1. Introducción ... 2
2. Objetivos y metodología ... 4
2.1. Objetivo ... 4
2.2. Metodología ... 5
3. Análisis del Estado del Arte ... 5
3.1. La gestión de inundaciones en varios países ... 6
3.1.1. "Sistema de drenaje urbano sostenible" del Reino Unido[6][9][16] ... 6
3.1.2. "Mejores prácticas de gestión de inundaciones", "Desarrollo de bajo impacto" y "Construcción de infraestructura verde" en los Estados Unidos[6][9][16] ... 7
3.1.3. "Diseño urbano sensible al agua" en Australia[6][9][16] ... 9
3.1.4. La "construcción de la ciudad esponja" de China ... 10
3.1.5. Análisis de los diferentes modelos de gestión del agua de lluvia 11
4. Análisis de la distribución de las zonas climáticas en China y causas de las inundaciones ... 12
4.1. Régimen de precipitaciones ... 15
4.2. Características climáticas ... 18
4.3. Causas de las inundaciones en China ... 20
5. Orientación de política ... 23
6. Ciudades Esponja ... 26
6.1. Tecnologías implantadas en China ... 27
6.1.1. Cubiertas ajardinadas [3] ... 27
6.1.2. Pavimento permeable [3] ... 29
6.1.3. Espacios verdes hundidos [3] ... 30
6.1.4. Jardín de agua de lluvia (*área de retención biológica*) ... 31
6.2. ¿Por qué se necesita una planificación urbana razonable? ... 33
6.2.1. Tajea ... 34
6.3. Cómo reducir y evitar el anegamiento ... 35
7. Conclusión ... 37
Bibliografía ... 38
Anexos ... 41

Resumen

Con el desarrollo de la economía social y la aceleración de la urbanización, la escasez de agua y la contaminación ambiental del agua se han convertido gradualmente en dos principales problemas hídricos que enfrentan el desarrollo social y económico de China, y también los problemas urgentes en el proceso de urbanización en China. El anegamiento urbano es el resultado de la lluvia que excede la capacidad de drenaje, por lo que el sistema de drenaje urbano sostenible mejorará el sistema de drenaje urbano tradicional, reflejado en el reciclaje del agua: reduciendo las inundaciones, la contaminación y embelleciendo las ciudades, etc.

Este trabajo analiza los conceptos y las legislaciones sobre la construcción sostenible de ciudades en varios países, y concluye con que la construcción de ciudades esponja debe calar en un discurso político con apoyo legal por parte de los gobiernos. La construcción de una ciudad esponja debe excluir: la búsqueda de un aumento ilimitado a escala urbanización; debe combinarse con la economía y el número de residentes; debe abandonar los edificios mal generados en el proceso de urbanización; debe minimizar el uso de recursos. En este contexto y combinando tanto los conceptos de construcción de en diversos países como las condiciones nacionales de China, se ha conceptualizado lo que debería ser la construcción sostenible de la ciudad.

Palabras clave

Inundaciones urbanas, Ciudad Esponja, Sistema de Drenaje Urbano Sostenible (*SUDS*)

1. Introducción

El agua es la fuente de la vida. Desde la antigüedad, la gente vivía cerca del agua, la civilización nació gracias al agua y prosperó gracias esta. El antiguo Egipto, Babilonia, la antigua India y China, las cuatro civilizaciones principales y todas las culturas antiguas se desarrollaron cerca del agua. Debido a la rápida urbanización de China, la superficie natural de la ciudad está constantemente cubierta por materiales impermeables, lo que aumenta considerablemente el área impermeabilizada.

La infiltración natural del agua de lluvia ha sido muy cuestionada y ha nacido el concepto de "ciudad esponja", que controla el agua de lluvia en la fuente, controla la escorrentía superficial y evita el anegamiento urbano y la contaminación del agua.

Después del advenimiento de la civilización humana, los sistemas de drenaje de la mayoría de las ciudades tenían como objetivo prevenir la salud pública. Sin embargo, con la modernización de las ciudades y los cambios climáticos, las inundaciones e inundaciones locales son frecuentes y la contaminación del agua es grave. Para mejorar las deficiencias del sistema de drenaje urbano tradicional, los países han propuesto un sistema de drenaje modernizado desde la década de 1980. El Reino Unido ha propuesto el "Sistema de drenaje urbano sostenible" (*SUDS*), los Estados Unidos el "Desarrollo de bajo impacto" (*LID*), Australia ha propuesto el "Diseño urbano sensible al agua" (*WSUD*), etc. En 2012, el concepto de "ciudad esponja" en China apareció en la opinión pública, también conocido como "ciudad elástica al agua"

Según la definición de la Agencia Británica de Protección Ambiental (*EA*), la construcción de un sistema de drenaje urbano sostenible es una tecnología para la gestión sostenible de las aguas superficiales y subterráneas, al minimizar la superficie impermeable de la ciudad y dividir el área de captación para evitar la escorrentía superficial, es posible evitar una gran cantidad de agua de lluvia en cierto punto [17]. Su filosofía es reducir la posibilidad de

anegamiento urbano por colapso del sistema de drenaje, al tiempo que mejora la utilización de aguas superficiales como el agua de lluvia y reduce la contaminación del agua. El concepto tradicional del sistema de drenaje es introducir rápidamente el agua de lluvia desde la superficie del suelo hasta los puntos de descarga (*zanjas, ríos*). La EA cree que esta práctica tendrá los siguientes efectos negativos. Primero, el rápido aumento del flujo de agua en el río y el consiguiente aumento del nivel del agua, lo que provoca el peligro de inundaciones río abajo. Segundo, el agua de lluvia transporta contaminantes del suelo y fluye directamente al río sin ningún tratamiento. A la larga, puede hacer que la calidad del agua del río y del agua subterránea disminuya. Finalmente, la lluvia se introduce directamente en el punto de descarga, y las aguas subterráneas y los ríos no se pueden reponer durante los periodos de estiaje.

Al construir una ciudad esponja, lo primero que debe revertirse es el concepto de ideología y seguir el principio de prioridad ecológica [2]. El modelo tradicional de construcción urbana impermeabiliza la superficie de las vías públicas, y la lluvia no puede filtrarse naturalmente (*Tabla 1*) [1] [10]. Cada vez que la precipitación es importante, el drenaje se deriva principalmente a zanjas, red de alcantarillado, etc. Los principales conceptos de planificación y diseño son "eliminación rápida" y control de "finalización centralizada". A menudo son comunes las lluvias y el anegamiento, y las sequías y las inundaciones se vuelven bruscamente. En los modelos de construcción urbana ecológica, los principales conceptos de planificación para evitar eficazmente las inundaciones y el uso del agua de lluvia tienen prioridad el uso de medidas "verdes", tales como la utilización de vegetación y materiales de filtración de agua para diseñar un drenaje, de "liberación lenta" y "dispersión de la fuente". Construir una ciudad esponja significa desarrollar un sistema de agua de lluvia que absorba, almacene, filtre y purifique el agua cuando llueve, y liberarla y cuando sea necesario para lograr la libre circulación del agua de lluvia en la ciudad. *Sponge City* es una expresión de imagen del manejo racional de los problemas de agua de la ciudad. El desarrollo de bajo impacto es su contenido principal. La clave para el

desarrollo de bajo impacto radica en el control del desarrollo de bajo impacto de la hidrología, enfatizando que el área de desarrollo debe estar lo más cerca posible del ciclo hidrológico natural (*Figura 1*) [14].

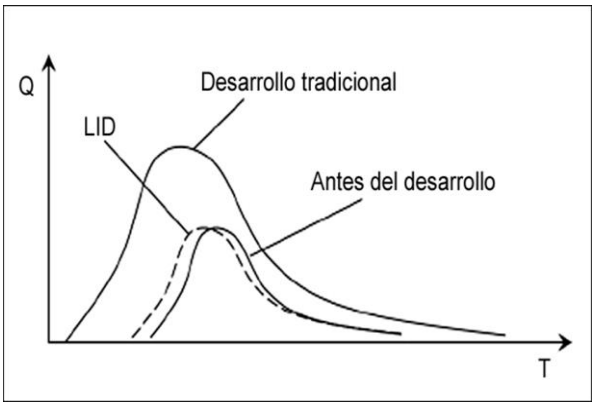


Figura 1. Diagrama esquemático de principios de desarrollo de bajo impacto (Fuente: http://www.baihai.cc/index.php?a=shows&catid=28&id=111)

Tabla 1. Comparación entre construcción tradicional de ciudad y construcción de ciudad esponja

Ciudad tradicional	Ciudad esponja
Transformar la naturaleza	Conformarse a la naturaleza
Construcción extensa	Desarrollo de bajo impacto
Uso de la tierra	El hombre y la naturaleza viven en armonía
Aumento de la escorrentía superficial	Escorrentía superficial constante
Cambiar la ecología original	Protege la ecología original

La clave para construir una ciudad esponja es mejorar continuamente la escala y la calidad del "cuerpo de esponja". En el pasado, la construcción urbana perseguía tierras planas, y los lagos a menudo se llenaban. La construcción de ciudades esponja debe basarse en la construcción de edificios urbanos, comunidades, carreteras, espacios verdes y plazas. La construcción de la ciudad esponja es un proyecto sistemático, y es un proyecto de gestión integral de la seguridad del control de inundaciones urbanas, la garantía de los recursos hídricos, la conservación del agua y la gestión ambiental, y la restauración ecológica del agua.

2. Objetivos y metodología

2.1. Objetivo

El objetivo de este trabajo es el análisis de la construcción urbana sostenible en varios países, el análisis de las causas de las inundaciones urbanas en China, para diseñar un concepto de nueva planificación de la construcción urbana.

2.2. Metodología

La metodología que se ha empleado para la consecución de los objetivos ha sido fundamentalmente el análisis bibliográfico.

Se han recopilado y clasificado 17 publicaciones relevantes, (*revistas, obras y bases de datos en chino y en otros idiomas*). Posteriormente se procedió a su análisis, diferenciando sistemas de drenaje urbano sostenible, desarrollo de bajo impacto y ciudades esponjosas.

Y por último, se ha realizado una propuesta de "*concepto de planificación de construcción de la ciudad*" aplicado en China.

3. Análisis del Estado del Arte

Tanto ahora como en el futuro, las aguas superficiales deben gestionarse eficazmente para un uso sostenible. El agua de lluvia cae en la superficie, se filtra en el suelo y en condiciones naturales pasa a formar parte de la humedad del suelo, a incrementar las aguas subterráneas y algunos para alimentar el cauce de los ríos y el nivel de los lagos, pero debido a la urbanización, el comportamiento del ciclo natural cambia, haciendo que el ciclo natural del agua se vea obstaculizado. En muchas ocasiones, en las zonas urbanas, los lagos naturales y las depresiones se utilizan para la explotación de recursos, las vías públicas están impermeabilizadas, y el área para la infiltración del agua de lluvia está disminuyendo (*Figura 2*). El aumento de suelo impermeable, implica un aumento del agua escorrentías; esto implica que si el diseño de las instalaciones de drenaje no es suficiente, y las precipitaciones exceden el mismo, el sistema de drenaje no puede evacuar el agua, aumentando el riesgo de inundaciones urbanas. El cambio climático global y el desarrollo de la urbanización indican que esta situación

será cada vez más frecuente, ya que a medida que la población crece, las necesidades aumentan. Esto también provoca que el nivel de las aguas subterráneas descienda debido por un lado a la explotación del recurso y por otro a la disminución de la infiltración. El medio ambiente también sufre constantemente de la humanización, con pérdida de fauna, flora y zonas húmedas. Todos indican que es necesario realizar una planificación racional de la gestión del agua y del urbanismo para hacer frente a los desastres naturales provocadas por el hombre.

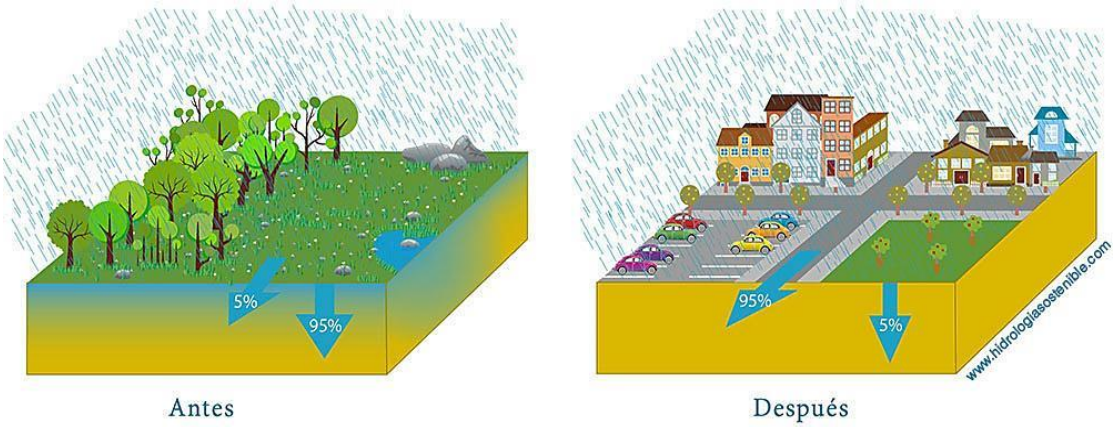


Figura 2. Impacto de la urbanización en la hidrología

(Fuente: http://hidrologiasostenible.com/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-suds/)

3.1. La gestión de inundaciones en varios países

3.1.1. "Sistema de drenaje urbano sostenible" del Reino Unido[6][9][16]

a) Conceptos y métodos de gestión

En la década de 1990, el Reino Unido propuso un sistema de drenaje urbano sostenible, cuyo objetivo era reducir la posibilidad de anegamiento urbano del sistema de drenaje, al tiempo que mejoraba la utilización de las aguas superficiales lluvia y reducía la contaminación del río. Su característica sobresaliente es que la sostenibilidad se refleja en el proceso de "pelotón. El "sistema de drenaje sostenible" sigue tres principios: 1) diversificar los canales de drenaje y evitar que la tubería de drenaje tradicional sea la única salida de drenaje; 2) las instalaciones de drenaje tienen en cuenta el filtrado para reducir la descarga de contaminantes en los ríos; y 3) reutilizar el agua superficial como la lluvia tanto como sea posible.

El primer sitio donde se aplicó fue en la zona de desarrollo de Dunfermline East. El agua de lluvia retenida se utilizaba para reverdecer el paisaje y aumentar el volumen del agua subterránea en la comunidad, aliviando la escasez de agua en la ciudad y también reduciendo las inundaciones urbanas, lo que refleja la sostenibilidad de los sistemas de drenaje urbano y el medio ambiente.

b) ley de seguridad económica

El Reino Unido estableció un grupo de trabajo nacional sobre el agua en 2001. El grupo de trabajo promulgó el “Marco para sistemas de drenaje urbano sostenible en Inglaterra y Gales” y en 2003, y en 2004 emitió las “Disposiciones provisionales sobre la práctica de sistemas de drenaje urbano sostenible”. Con ello se formuló una cadena de gestión integrada con prioridades jerárquicas para medidas preventivas, control de fuentes, control de sitios y control regional. En abril de 2010, el Parlamento británico aprobó la “Ley de gestión de inundaciones y aguas”, y la Agencia Británica de Protección del Medio Ambiente estipuló que todas las áreas recientemente desarrolladas debían utilizar "sistemas de drenaje urbano sostenible".

3.1.2. "Mejores prácticas de gestión de inundaciones", "Desarrollo de bajo impacto" y "Construcción de infraestructura verde" en los Estados Unidos[6][9][16]

a) conceptos y métodos de gestión

Los Estados Unidos propusieron las “mejores prácticas de gestión de inundaciones” por lluvia en la Enmienda de 1987 de la Ley de Agua Limpia. Al principio, el objetivo principal era controlar la contaminación de fuentes no puntuales. Más tarde, se extendió gradualmente a muchos aspectos, como la calidad del agua y la ecología. Su filosofía de diseño es aliviar los problemas de inundaciones por lluvias y los problemas de contaminación de fuentes no puntuales dentro de un cierto rango a través de medidas biológicas y físicas como la evaporación, infiltración, almacenamiento y filtración. Sus

limitaciones el requerimiento de grandes superficies, y la gran inversión de capital para cada instalación.

El desarrollo de bajo impacto es un concepto de desarrollo presentado por los Estados Unidos a principios de la década de 1990 para abordar las deficiencias de las instalaciones de drenaje tradicionales y el tratamiento terminal. Utiliza la tecnología de "control de fuente" para gestionar las inundaciones de lluvia. Ha reducido la ocurrencia de inundaciones y la contaminación del agua y la utilización del agua de lluvia dentro de un cierto rango, reduciendo así el impacto del desarrollo de la tierra en el entorno ecológico circundante. La capacidad es limitada y tiene una buena capacidad para manejar lluvias de alta frecuencia y pequeñas precipitaciones, pero su capacidad para debilitar los picos de las inundaciones es relativamente débil para tormentas de gran escala en la cuenca. LID enfatiza que el agua de lluvia es un recurso que no puede descargarse arbitrariamente y necesita ser controlado y utilizado [3], hace hincapié en la reducción de la fuente de la escorrentía del agua de lluvia, responde a las pequeñas precipitaciones diarias y el período de recurrencia P generalmente es inferior a 2 años. El núcleo es mantener las mismas características hidrológicas antes y después del desarrollo del sitio, incluida la escorrentía total, el flujo máximo, el tiempo pico, etc.

La construcción de infraestructura verde fue propuesta por los Estados Unidos en 2007, porque el desarrollo regional había cambiado el proceso tradicional de filtración de lluvias, histéresis de lluvia y evaporación. La construcción de infraestructuras verdes, emplea el uso de la vegetación regional y la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, para lograr diferentes frecuencias de la capacidad de regulación de las lluvias, y restablecer un ecosistema hidrológico natural.

b) ley de seguridad económica

En 1990, la Agencia de Protección Ambiental de (*USA EPA*). Emitió las primeras "Medidas para el control del agua de lluvia", cuyo objetivo principal

era la gestión de alcantarillado urbano y la descarga de las escorrentías de las áreas industriales. Las regulaciones de gestión de lluvias e inundaciones formuladas por cada estado requieren que el flujo máximo de tormentas de la nueva zona de desarrollo se mantenga al nivel antes del desarrollo, y la nueva zona de desarrollo debe implementar el almacenamiento estanco, siendo el estándar mínimo el de un periodo de retorno de 5 años. Además de promulgar leyes y reglamentos, los gobiernos estatales también implementan sistemas de recompensa y sanción, como el uso de impuestos totales, subsidios, préstamos y otros métodos para alentar la implementación de la gestión del agua de lluvia.

3.1.3. "Diseño urbano sensible al agua" en Australia[6][9][16]

a) conceptos y métodos de gestión

El diseño urbano sensible al agua se desarrolló en Australia a principios de la década de 1990 para integrar la planificación y el diseño urbano con el suministro de agua, alcantarillado, agua pluvial, agua subterránea y otras instalaciones en diferentes escalas espaciales de la ciudad, es decir integrar la planificación urbana con la gestión del ciclo urbano del agua.

Los principios clave del diseño son: proteger los ecosistemas naturales, proteger la calidad del agua, reducir la escorrentía y el flujo máximo, y combinar orgánicamente las inundaciones y los paisajes naturales. El diseño urbano sensible al agua coloca el "agua" al comienzo del diseño urbano y lo ejecuta a través de cada enlace, lo que permite el uso, almacenamiento y reutilización de los recursos hídricos para operar en un marco "sostenible".

En términos de diseño de calles, se utilizan principalmente sistemas de detención biológica (*depresiones de detención ecológica y cuencas de detención ecológica*), así como sistemas de zanjas de infiltración y pavimento permeable; en espacios públicos abiertos, se utilizan principalmente cuencas sedimentarias, humedales artificiales, depresiones y zonas de amortiguamiento, con el fin de manejar la retención de agua de lluvia.

El propósito es aumentar las instalaciones de recolección de agua subterránea, usar piscinas estancas y estanques bioquímicos para tratar las aguas pluviales en el lugar de origen, e ingresar al sistema de suministro de agua urbana después de que la calidad del agua cumpla con los estándares para lograr una conexión cercana entre el agua de lluvia y la ciudad.

b) ley de seguridad económica

En 2004, la Agencia de Protección Ambiental del Gobierno de Australia propuso un plan nacional de aguas pluviales, y desde entonces, los gobiernos locales han llevado a cabo una gestión del agua de lluvia urbana basada en los principios del "diseño urbano sensible al agua". Además, la gestión del agua de lluvia en Australia no es se realiza a nivel nacional, sino que el diseño es desarrollado por los estados y los gobiernos locales para responder a las diferentes condiciones de cada región, lo que permite flexibilidad, y los estados o jurisdicciones locales adoptan los suyos propios. Las herramientas legislativas y reguladoras, las decisiones de gestión del agua de lluvia urbana también se completan a través de equipos de diseño multidisciplinares en consulta con las partes interesadas relevantes.

3.1.4. La "construcción de la ciudad esponja" de China

Sponge City es un nuevo concepto de gestión de inundaciones por aguas pluviales en las urbes (*Figura 3*), es decir, la ciudad puede ser como una esponja, tiene una buena "elasticidad" para adaptarse a los cambios ambientales y responder a los desastres naturales. Absorbe, almacena, filtra y purifica el agua cuando llueve. Libera y usa el agua almacenada.

La construcción de ciudades de esponja debe seguir los principios de prioridad ecológica, y combinar procesos naturales y medidas artificiales para maximizar la acumulación, penetración y purificación del agua de lluvia en áreas urbanas con la premisa de garantizar la seguridad del drenaje urbano y la protección contra inundaciones, y promover el uso de los recursos de agua de lluvia, y la protección del medio ambiente. Durante la construcción de la ciudad esponja, se debe coordinar la sistémica de las precipitaciones

naturales, las aguas superficiales y subterráneas, y se deben coordinar todos los aspectos del reciclaje del agua, tanto el suministro de agua como el drenaje, y se debe considerar su complejidad y naturaleza a largo plazo. Sponge City incluye cinco niveles de control de contaminación de origen, descarga de agua de lluvia, recolección y utilización de agua de lluvia, prevención y control de anegamiento y control de inundaciones urbanas para todas las lluvias en el período recurrente.

La tecnología y las instalaciones LID pueden controlar de manera efectiva la velocidad y el grado de daño al medio ambiente ecológico mediante el desarrollo de la penetración, almacenamiento, regulación, transmisión e intercepción y purificación de aguas residuales. Por lo tanto, la tecnología y las instalaciones de LID tienen una influencia importante en la construcción de ciudades de esponja y son tecnologías importantes para la construcción de ciudades esponja.

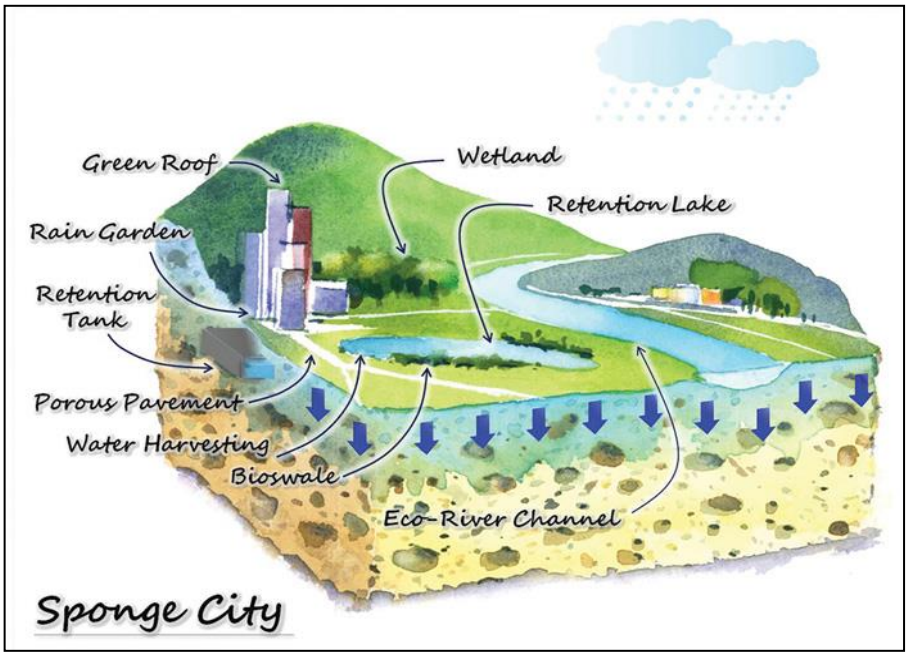


Figura 3. Esquema de la ciudad de esponja

(Fuente:https://www.dsd.gov.hk/Documents/SustainabilityReports/1617/en/sponge_city.html)

3.1.5. Análisis de los diferentes modelos de gestión del agua de lluvia

Después de analizar los métodos de gestión de varios países de las aguas pluviales (*Reino Unido, USA y Australia*), se deduce que la clave de la misma en el "control de fuente" y "control aguas abajo". Al inicio de la precipitación, cuando aún no ha entrado en la red de drenaje urbano es cuando se aplica el "control de la fuente": el fundamento es la infiltración o almacenamiento temporal para reducir los picos de inundación, reducir la escorrentía y aumentar el volumen del agua subterránea. El método específico es construir vías permeables, humedales, estanques de detención y cubierta vegetal.

El "control aguas abajo" se refiere al ajuste y al tratamiento preliminar del agua de lluvia en la red de drenaje después de que el agua de lluvia fluya hacia la misma. Aguas abajo, se establecerá un tanque de almacenamiento de agua pluvial para el tratamiento de la misma y para prevenir inundaciones urbanas.

El sistema tradicional de drenaje de aguas pluviales de China se basa en la experiencia de la construcción urbana de la Unión Soviética. Los estándares de drenaje son bajos, los conceptos de diseño y las soluciones son relativamente atrasados, y el enfoque está en el tratamiento de aguas residuales. El agua de lluvia se trata como un líquido residual no contaminante y se puede descargar libremente. Se descarga utilizando el mismo sistema de drenaje que el alcantarillado urbano. En China, se está apostando por la gestión del agua de lluvia y se ha propuesto el concepto de "construcción de ciudad esponja" y aunque se han logrado algunos resultados en algunas ciudades piloto, debido al rápido desarrollo de estas, no existen regulaciones específicas a nivel urbano, ya que el trabajo de innovación es extremadamente difícil y complicado.

4. Análisis de la distribución de las zonas climáticas en China y causas de las inundaciones

Las cuatro regiones en las que está dividida china políticamente son Qinghai-Tíbet (*青藏地区*), Región Noroeste (*西北地区*), Región Norte (*北方地区*) y Región Sur (*南方地区*) (*Figura 4*).

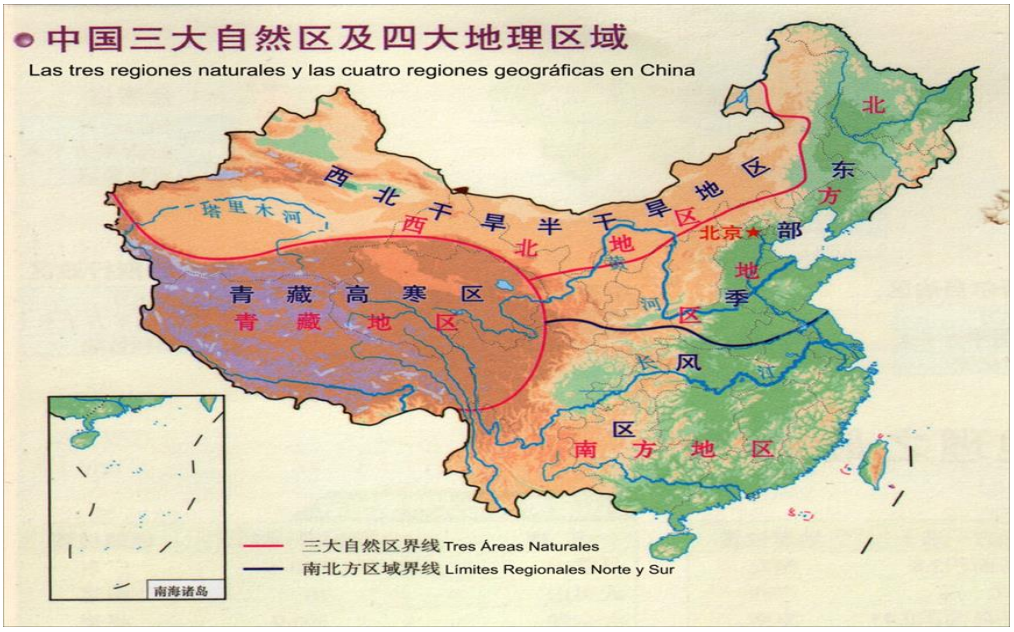


Figura 4. Línea de demarcación geográfica de China
(Fuente: http://ditu.ps123.net/china/11455.html)

Fisiográficamente China, se divide en tres áreas: el área del monzón oriental, el área árida y semiárida del noroeste y el área alpina Qinghai-Tíbet (*Figura 4*).

Áreas áridas y semiáridas del noroeste: el terreno está dominado por mesetas y cuencas, lejos del océano, por lo que el clima se está volviendo más seco de este a oeste.

Región alpina Qinghai-Tíbet: debido a la altitud y a las bajas temperaturas, es difícil que el flujo de aire húmedo del océano suba a los picos altos, formando un paisaje natural alpino único.

Área de monzones orientales: la diferencia entre el norte y el sur se realiza tomando el río Qinling-Huaihe como límite, se divide en las áreas sur y norte. El río Qinling-Huaihe es un límite geográfico integral, es un límite geográfico importante en China, y también es el límite entre el norte y el sur, la línea de precipitación de 800 milímetros, el límite entre el área húmeda y el área subhúmeda, el límite entre los campos de arroz de secano y la Isoterma de grado cero: *el norte está por debajo de cero, el sur es mayor que cero*. En la

Tabla 2, se muestran diferencias más significativas entre la Región Norte y la Región Sur.

Tabla 2. Comparación de norte y sur

	Región Norte	Región Sur
Ubicación geográfica	Ubicado en la zona este del monzón, al norte del límite de Qinling-Huaihe, al este del mar de Bohai y el mar Amarillo, al norte de los 33 ° de latitud norte	Ubicado en la zona este de los monzones, al sur del límite de Qinling-Huaihe, al este del Mar de China Oriental y el Mar Amarillo, al sur del Mar de China Meridional, al sur de 33 ° N
Características del terreno	Ubicada en el segundo y tercer escalón, la llanura es vasta: la llanura del noreste (*tierra negra),* la llanura del norte de China, la meseta de Loess (*tierra de loess*)	Ubicado en la segunda y tercera escalera, el oeste de Wushan en el norte es la cuenca de Sichuan, y el este es el tramo medio e inferior de la llanura del río Yangtze; el sur está rodeado de montañas nevadas; el oeste es la meseta de Yungui; el este son las colinas del sureste, con muchos sistemas de agua: el sistema del río Yangtze, el sistema del río Pearl y el río Qiantang
Características climáticas	Clima templado del monzón; frío y seco en invierno, alta temperatura y lluvia en verano; principalmente sequía, arena ventosa en primavera, inundación en verano, olas frías en invierno y otros desastres meteorológicos	Clima monzónico subtropical y tropical húmedo: precipitaciones abundantes; lluvias suaves y escasas en invierno, temperaturas altas y lluvias en verano: calor suficiente; principalmente desastres meteorológicos como inundaciones, tifones y olas frías
Recursos naturales	El carbón, el hierro, el petróleo y otros recursos minerales son abundantes y los recursos hídricos son escasos	Rico en minerales de metales no ferrosos y recursos hidroeléctricos

4.1. Régimen de precipitaciones

Como se puede ver en la Figura 5, las regiones con más precipitaciones en China son: el noreste de Taiwán y la ladera sureste del Himalaya. La precipitación anual más alta es la de 火烧寮(huǒshāoliáo) en Taiwán. En el Trópico de Cáncer, la precipitación anual más alta es de 8.408 mm; el lugar con la menor precipitación anual es 托克逊(tuōkèxùn) en la cuenca de 吐鲁番(tǔlǔfān), al noroeste del país, que tiene un clima cálido y templado árido desértico con una precipitación anual promedio de 5,9 mm.

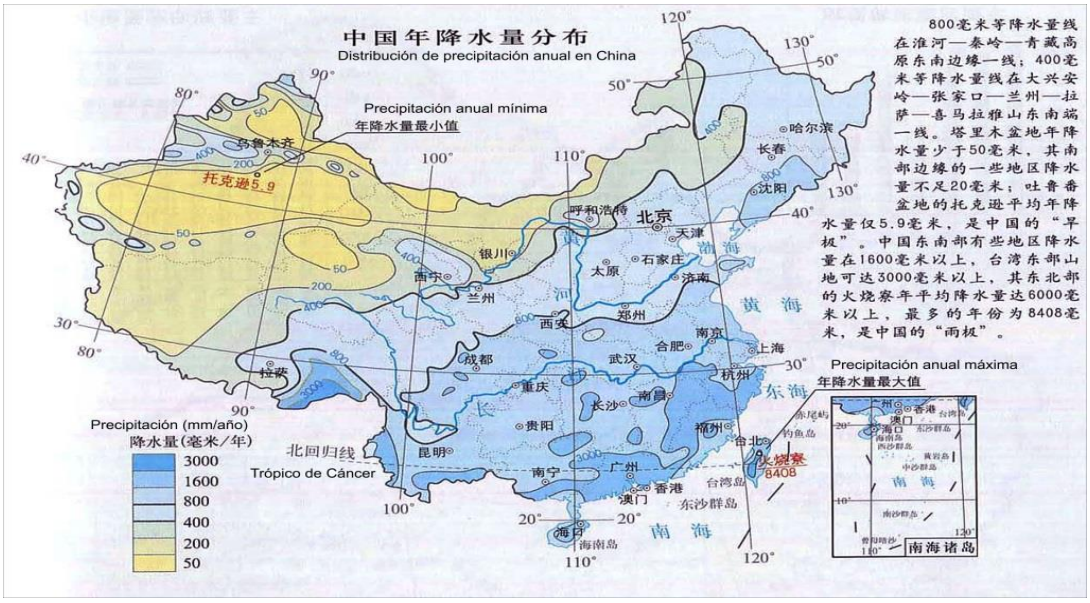


Figura 5. Mapa de distribución de precipitación anual en China
(Fuente: http://ditu.ps123.net/china/17868.html)

Así se observa en dicha figura, que la distribución espacial de la precipitación no es homogénea, produciéndose una disminución generalizada de la misma desde la costa sureste hacia el noroeste. Existen grandes diferencias entre las regiones, generalmente, las áreas cercanas al mar tienen más precipitaciones, mientras que las áreas alejadas del mar tienen menos precipitaciones; hay más precipitaciones en el sur y menos precipitaciones en el norte. Las ciudades y regiones afectadas por el tifón están básicamente en el sur, y más áreas montañosas que llanuras. El monzón de verano en el sureste produce abundantes precipitaciones, por su cercanía al océano, mientras que el noroeste, lejos del océano, se ve menos afectado por el

monzón de verano por lo que recibe menos precipitaciones. En términos generales, el sureste es húmedo, y cuanto más el noroeste, en zonas continentales, más seco.

La variación temporal de la precipitación en China se manifiesta de dos maneras: estacional e interanualmente.
La distribución estacional de las precipitaciones en China es la siguiente:

- la temporada de lluvias en el sur se comiendo en el mes de mayo y termina en el mes de octubre.
- la temporada de lluvias del norte es más corta, concentrándose entre julio y agosto.
- En la mayor parte del país, llueve más en verano y otoño y menos en invierno y primavera.

El cambio interanual es la distribución de la precipitación entre años. En muchas regiones de China, las precipitaciones interanuales varían mucho, las regiones con más precipitaciones tienen menos cambios y las regiones con menos precipitaciones tienen más cambios. Debido a la gran cantidad de lluvia a lo largo de la costa, el cambio es pequeño; y las áreas del interior lejos del océano tienen grandes cambios debido a la baja precipitación. El área con la mayor diferencia de lluvia se encuentra en la cuenca interior.

Los cambios interanuales se producen con mayor frecuencia en las zonas áridas, produciendo las sequías e inundaciones frecuentes, de manera que:

- Cuando el monzón de verano es fuerte o llega temprano, se producen inundaciones en el norte y sequía del sur.
- Por el contrario, cuando el monzón de verano es débil o llega tarde, las inundaciones se producen en el sur y la sequía del norte.

Por lo que la distribución espacial de la precipitación en China se deben principalmente a la influencia de las actividades monzónicas: el monzón del sur este que se origina en el Océano Pacífico tropical y el monzón del sur oeste sobre el Océano Índico cerca del ecuador; ambos insuflan aire cálido y

húmedo hacia la China continental, convirtiéndose en la principal fuente de vapor de agua para las precipitaciones de verano en China.

- El año en que el monzón de verano es normal: (*cálido y húmedo*), avanza hacia Nanling y al área al sur en abril y mayo; Guangdong, Guangxi, Hainan y otras provincias y regiones entran en la temporada de lluvias y aumentan las precipitaciones.
- En junio, el monzón avanza por el curso medio y bajo del río Yangtze, y llega hasta el sur del río Qinling-Huaihe, comenzando la temporada de lluvias. En este momento, se producen fuertes precipitaciones en la región de Jianghuai (debido a que es la temporada en que maduran las ciruelas están maduras, el clima se llama Meiyu).
- El monzón de verano de julio a agosto avanzó hacia el norte de Qinling del río Huaihe. El este de China y el noreste de China entraron en la temporada de lluvias, y las precipitaciones aumentaron significativamente. En septiembre, el poder del aire frío en el norte se fortaleció, y el cálido y húmedo monzón de verano se retiró hacia el sur bajo su impulso, y la temporada de lluvias del norte terminó. En octubre, el monzón de verano se retiró de China continental y también terminó la temporada de lluvias en el sur.

En estos tres párrafos, con la profundización del monzón de verano de sur a norte, la temporada de lluvias entra de sur a norte. Antes de septiembre, el monzón de verano, de sur a norte, trajo lluvia a la zona de paso; después de septiembre, el aire frío en Siberia se movió de norte a sur. Debido a que la intensidad del aire frío era mucho mayor que el aire cálido del monzón de verano, bajo el ímpetu del aire frío, el aire cálido se retiró del norte al sur y finalmente se retiró de China continental.

Las condiciones húmedas y secas son uno de los indicadores que reflejan las características del clima. El grado de humedad y sequedad de un lugar está determinado por el contraste entre precipitación y evaporación. Si la precipitación es mayor que la evaporación, el área será húmeda y si la precipitación menor que la evaporación, el área será seca. Las condiciones

secas y húmedas están estrechamente relacionadas con los tipos de vegetación natural y la agricultura. En China se diferencian cuatro zonas en relación con el grado de humedad, tal y como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. División de zonas secas y húmedas

	Precipitación anual (mm)	Condiciones húmedas y secas	Área de distribución	Vegetacion	Uso de la tierra
Zona húmeda	>800	Precipitación > Evaporación	Al sur de Qinling-Huaihe, al sur de la meseta Qinghai-Tíbet, al noreste de Mongolia Interior, al este de las tres provincias del noreste	Bosque	Agricultura basada en campos de arroz
Zona semihúmeda	>400	Precipitación > Evaporación	Llanura del noreste, llanura del norte de China, la mayor parte de la meseta de Loess, sureste de la meseta de Qinghai-Tíbet	Bosque — Pradera	Agricultura basada en secano
Zona semiárida	<400	Precipitación < Evaporación	Meseta de Mongolia Interior, parte de la meseta de Loess, la mayor parte de la meseta de Qinghai-Tíbet	Pradera	Cría de pastizales, agricultura de regadío
Zona árida	<200	Precipitación < Evaporación	Xinjiang, meseta occidental de Mongolia Interior, meseta tibetana del noroeste	Desierto	Cría de animales alpinos, agricultura de regadío en oasis

El monzón de verano es difícil de alcance el noroeste de China, por lo que las precipitaciones son muy escasas, por lo que a esta área también se llama región no monzónica.

4.2. Características climáticas

China tiene un vasto territorio, una amplia latitud y una gran distancia del mar en su parte más occidental. Además, el territorio es muy diverso, con notables diferencias geológicas y fisiográficas. Esto provoca una gran diversidad en el régimen precipitaciones y temperaturas, con una gran variedad climática.

Así y atendiendo a la clasificación de Köppen, la parte oriental del país presenta un clima monzónico, (monzónico subtropical*, monzónico templado y monzónico tropical*); en el noroeste el clima es continental templado; y en la meseta Qinghai-Tíbet el clima es de tipo alpino.
Y atendiendo a temperatura variables meteorológicas, en China tiene los siguientes climas: tropical, subtropical, templado cálido, templado medio, templado frío y la meseta Qinghai-Tíbet. Esta distribución se ha hecho utilizando la temperatura acumulada de una región, que refleja las condiciones de calor de la región. La meseta Qinghai-Tíbet es la región de mayor altitud en China, también conocida como el techo del mundo, y el Himalaya está aquí. La temperatura media anual en el interior de la meseta es inferior a 0 ℃, y la temperatura promedio del mes más cálido en grandes áreas también es inferior a 10 ℃.

Como ya se ha comentado, el clima de China tiene las características del clima monzónico con altas temperaturas y lluvias en verano, frío y lluvia en invierno. En invierno prevalecen los vientos del norte del continente hacia océano, mientras que en verano, son dominantes los vientos del sur del océano hacia el continente.

El monzón de invierno se produce en el interior de Asia, es frío y seco, y bajo su influencia, el régimen de precipitaciones es menor. El monzón de verano proviene del Océano Pacífico al sureste y del Océano Índico al suroeste, con una influencia cálida y húmeda, en este estadio las precipitaciones aumentan, y las temperaturas son elevadas. En comparación con otras regiones de la misma latitud del mundo, la temperatura de invierno en China es más baja, mientras que la temperatura de verano es más alta, concentrándose las precipitaciones en verano. Por lo tanto, el clima monzónico de China tiene un fuerte carácter continental y también se denomina clima monzónico continental.

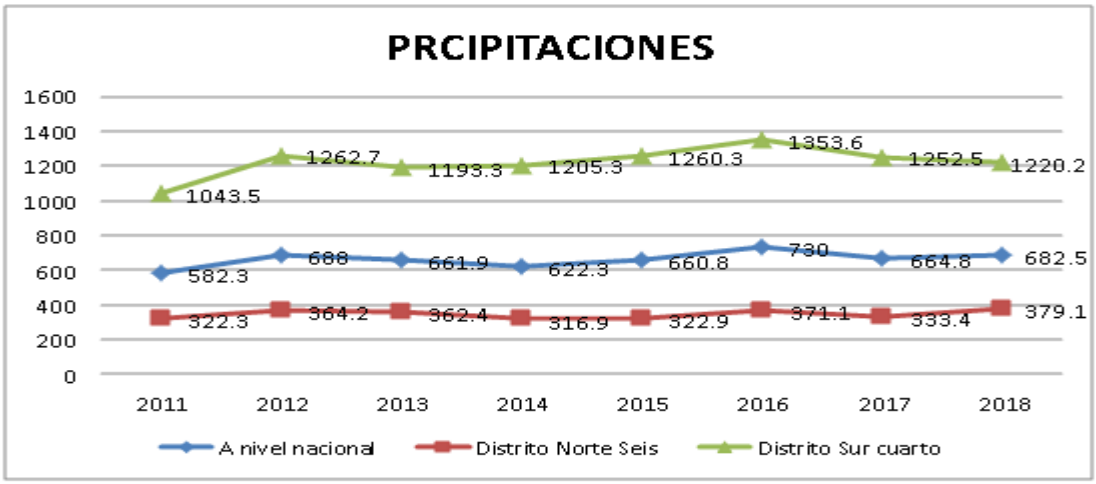
Este clima tan complejo y diverso en el país, da lugar a sequías, inundaciones, olas frías, tifones y otros eventos extremos.

Las sequías y las inundaciones ocurren en promedio una vez al año en China; las sequías ocurren principalmente en el norte y sequías e inundaciones en el sur.

4.3. Causas de las inundaciones en China

Las anomalías en la temperatura y la lluvia pueden causar sequías e inundaciones en diversos grados, con abundantes lluvias de verano y temperaturas cálidas (*Tabla 4*).

Tabla 4. Distribución de precipitaciones en los últimos años
(Fuente: Ministry of Water Resources of the people's Republic of China)



(*Distrito norte seis: distrito de Songhuajiang; distrito de Liaohe; distrito de Haihe; distrito del río amarillo; distrito de Huaihe; ríos del noroeste.*
Distrito sur cuatro: distrito de Changjiang; distrito del río sureste; ríos del sudoeste; distrito del río Pearl.)

El verano de 2011, fue especialmente cálido y seco en el suroeste del país, pero se produjeron intensas lluvias en los tramos más bajos del río Yangtzé; Debido a la presión anormal del aire sobre China, el aire frío que va hacia el sur y el flujo de aire cálido y húmedo hacia el sur no pueden converger para formar lluvia, por lo tanto, durante todo el verano, la lluvia total en China es relativamente pequeña.

Por el contrario, en 2016 las lluvias fueron torrenciales, hubo inundaciones y tifones, por lo que se le consideró un año con desastres climáticos severos:

- La temperatura media anual nacional aumentó +0,8º (*por la influencia de El Niño*).
- La precipitación media anual fue de 730 mm, superior a la media nacional (*Tabla 4*).
- Se produjeron 46 eventos extremos de precipitaciones que provocaron inundaciones en 26 provincias (*regiones autónomas y ciudades*).
- Hubo 8 procesos de bruma de moderada a severa continua a gran escala.
- Se registraron 8 tifones de intensidad media de aterrizaje de nivel 13 (*Tabla 5*).

Tabla 5. Clasificación de ciclones tropicales

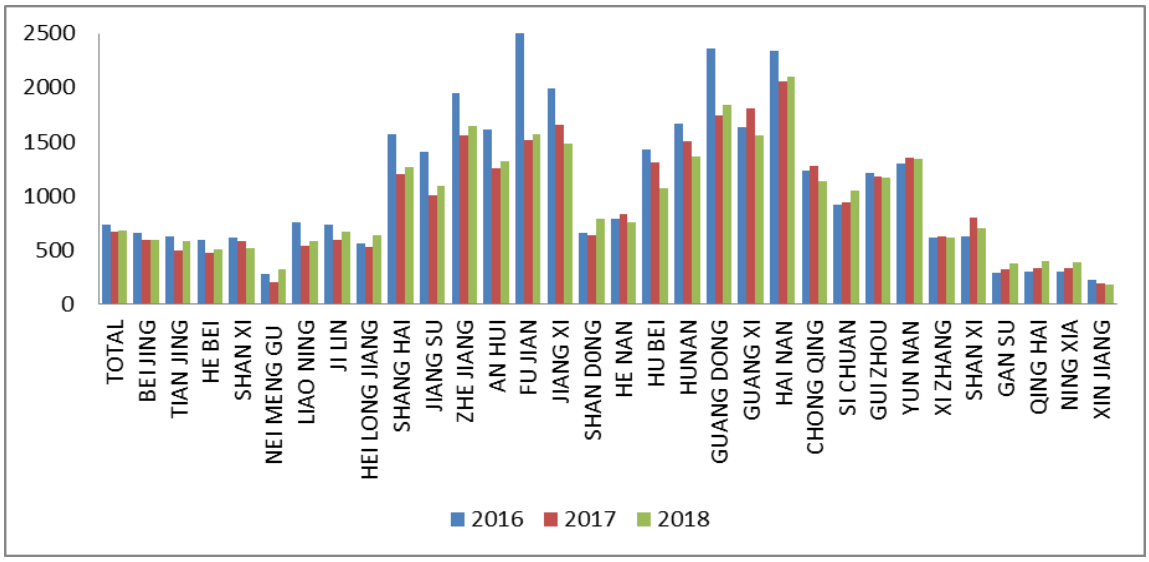
(Fuente: http://www.gov.cn/ztzl/2008tffy/content_1113726.htm)

Calificación de ciclones tropicales	Velocidad media máxima del viento cerca del centro de la planta baja (m/s)	Fuerza de viento máxima cerca del centro de la planta baja. nivel
Baja presión tropical (TD)	10.8~17.1	6~7
Tormenta Tropical (TS)	17.2~24.4	8~9
Tormenta tropical severa (STS)	24.5~32.6	10~11
Tifón (TY)	32.7~41.4	12~13
Tifón fuerte (STY)	41.5~50.9	14~15
Super Typhoon (SuperTY)	51.0	16 o más

Ciudades típicas en donde se producen inundaciones son 北京 (běijīng), 武汉 (wǔhàn) y 广州 (guǎngzhōu).

Tabla 6. Precipitaciones por provincias en los últimos años

(Fuente: Ministry of Water Resources of the people's Republic of China)



Los cambios en la precipitación en las provincias de China en los últimos años no son obvios. Según Tabla 6 y las Informaciones de internet, en las últimas décadas, más y más ríos y lagos se han transformado por procesos de urbanización, y no hay ningún sonido relevante en la construcción de la modernización urbana. Las instalaciones de drenaje, el rápido desarrollo de la ciudad no se ha coordinado con la naturaleza, y la frecuencia de lluvias extremadamente fuertes ha causado directamente problemas de anegamiento urbano. La superficie de la ciudad es impermeable, y cada vez hay menos lugares en donde el agua de lluvia se pueda filtrar y las inundaciones sólo puede depender más de los sistemas de drenaje artificial.

Las causas del anegamiento urbano tienen principalmente las siguientes características [4] [7] [11]:

- Clima: el clima extremo frecuente, debido al efecto de isla de calor causado por la construcción urbana, causó que la intensidad máxima de las tormentas de lluvia apareciera en el centro de la ciudad y su dirección del viento.
- Planificación: el estándar de drenaje es bajo. Las primeras instalaciones de drenaje utilizaron los estándares de drenaje de la antigua Unión Soviética, y la comunicación de diseño entre departamentos no pudo conectarse de manera efectiva.
- Construcción: ignorando la armoniosa convivencia entre los humanos y la naturaleza, algunos edificios también invadirán ríos y humedales naturales, destruirán el entorno ecológico original y reducirán la capacidad natural de la ciudad para asignar agua de lluvia.
- Gestión: la gestión municipal es un proyecto sistemático, que involucra la coordinación y cooperación de la planificación, la administración municipal, la conservación del agua, el control de inundaciones y otros departamentos. No importa lo que suceda en cualquier enlace, es fácil provocar el anegamiento urbano.

5. Orientación de política

El secretario general Xi Jinping, hablando sobre la construcción de ciudades esponja dijo: "*Montañas, agua, bosques, campos, lagos es una comunidad de vida, la vida de las personas en el campo, el alma del campo en el agua, el alma del agua en las montañas, el alma de las montañas en el suelo, el alma de la tierra en el árbol. El control del uso y la restauración ecológica deben seguir las leyes de la naturaleza, si el jardinero sólo es responsable de plantar árboles, los técnicos de tratamiento de agua sólo son responsables del tratamiento del agua, el campesino simplemente protege el campo, sin una visión holística, solo para su propio beneficio, y en última instancia causar la destrucción sistemática de la ecología. Es necesario que un departamento sea responsable del control de todos los recursos terrestres y espaciales dentro del territorio, y es necesario llevar a cabo la protección unificada y la restauración unificada del territorio*".

Cada detalle de la planificación urbana y la construcción debe tener en cuenta el impacto en la naturaleza, y no romper el sistema natural. ¿Por qué tantas ciudades carecen de agua? Una razón importante es que el grado de urbanización es muy alto, cortocircuitándose el ciclo hidrológico natural, consumiéndose gran cantidad del recurso y devolviéndolo a la naturaleza como aguas residuales. Para resolver el problema de la escasez de agua urbana, debemos imitar a la naturaleza. Por ejemplo, cuando se actualiza el sistema de drenaje urbano, se debe dar prioridad a la infiltración natural y purificación natural, construyendo una ciudad esponja. Muchas ciudades han propuesto consignas de ecociudades, con la idea es recrear la ciudad con árboles, lomas, lagos, etc., es decir construir paisajes artificiales; pero este concepto no es el de construir una civilización ecológica, sino destruir la ecología natural.

Para garantizar la seguridad del agua, la clave es cambiar el pensamiento de la gestión de la misma: esta debe basarse en los principios de " *ahorro, equilibrio espacial y gestión del sistema* ", así como la ejecución de planes

generales para la conservación del agua, la prevención de inundaciones, y la gestión del medio ambiente y la restauración ecológica.

El primer ministro Li Keqiang dentro de las políticas nacionales, también hace referencia a las ciudades esponja, exponiendo las siguientes consideraciones: “De acuerdo con los requisitos de la construcción de la civilización ecológica, la construcción de una ciudad esponja donde el agua de lluvia se *infiltra* y purifica naturalmente puede restaurar la ecología del agua urbana, conservar los recursos hídricos, mejorar las capacidades de prevención del anegamiento urbano, expandir la inversión efectiva en productos públicos y mejorar la calidad de la nueva urbanización”.

En la actualidad, muchas ciudades sufren inundaciones, debido tanto al aumento de reconcentración de precipitación, como a la falta de previsión en el desarrollo urbano a lo largo de los años. Esto ha provocado que en los últimos años, el problema de inundaciones en las ciudades chinas se haya agravado, y la necesidad de construir ciudades esponja sea más necesaria.

Al actualizar el sistema de drenaje urbano, se debe dar prioridad a la infiltración de las aguas pluviales, siempre y cuando sea garantice las condiciones de la calidad de las aguas subterráneas por depuración natural de las mismas, limitando el paso a la red de colectores para aquellas aguas más contaminadas (*por ejemplo, las de las calzadas*); esto favorece la construcción de “ciudad esponja”.

Para esto, los requisitos que el gobierno de la nación impone son:

- Establecer objetivos que persigan la infiltración de al menos el 70% de la lluvia.
- Realizar diferentes ensayos para alcanzar el objetivo anterior.
- Promover la gobernanza regional.
- Llevar a cabo una planificación, construcción y puesta en marcha integral.

En este sentido, el gobierno de la nación no ha enfocado el tema en incrementar la red de drenaje de aguas pluviales, sino de incrementar la construcción de ciudades esponjas, que priorice la seguridad de sus habitantes y se adapte a las condiciones locales, siendo respetuosa con el medio ambiente. Para ello elaboró una metodología para la construcción de estas ciudades de trabajo en la que el gobierno era el líder de la actuación, las empresas eran el actor principal que impulsaban a los mercados y toda la sociedad participaba en el conjunto. Y así, en octubre de 2014, el Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano-Rural de la República Popular de China emitió (*en versión de prueba*) la *"Guía técnica para la construcción de la ciudad de esponja-construcción de un sistema de desarrollo de aguas pluviales de bajo impacto(en adelante denominada "la guía)".*

La guía tiene como objeto regular la promoción y la aplicación de modelos de construcción y desarrollo de bajo impacto en el proceso de nuevos núcleos urbanizables en varias regiones, aumentar las restricciones para dirigir hacia los imbornales la escorrentía urbana, dar prioridad al uso de sistemas de drenaje natural, construir instalaciones de drenaje ecológico y aprovechar al máximo el espacio verde urbano.

La absorción, infiltración y liberación lenta del agua de lluvia de los viales, han aliviado efectivamente el anegamiento urbano, protegiendo y mejorando el entorno ambiental urbano, proporcionando una garantía importante para la construcción de una ciudad esponja con funciones naturales de acumulación, infiltración y purificación natural.

El "Comité Central del Partido Comunista de China, en febrero de 2016, emitió las siguientes opiniones sobre el fortalecimiento de la gestión de la planificación y construcción urbana"

- Promover la construcción de ciudades esponja.
- Aprovechar al máximo los espacios ecológicos, como topografía, ríos y lagos, humedales, tierras de cultivo, tierras forestales, pastizales, etc., para la construcción de ciudades esponja, para mejorar la capacidad

de conservación del agua, aliviar la presión de la lluvia y las inundaciones y promover el reciclaje de los recursos hídricos.

- Reducir sustancialmente el suelo urbano impermeable, promover la utilización de materiales de construcción permeables y construir instalaciones de retención de agua de lluvia como jardines de agua de lluvia, estanques de almacenamiento de agua, humedales y espacios verdes a cotas deprimidas que permitan que el agua de lluvia se acumule, penetre y purifique naturalmente.
- Restaurar el medio ambiental natural urbano.
- Desarrollar e implementar planes de restauración ambiental.
- Optimizar el diseño del espacio verde urbano.
- Construir un sistema de vías verdes, que conecten del espacio verde dentro y fuera de la ciudad e introduzca elementos paisajísticos en el área urbana; en definitiva, construir una ciudad vede.

6. Ciudades Esponja

La urbanización es un proceso necesario y un símbolo para la modernización de China. La urbanización es una fuerza impulsora importante para el crecimiento económico moderno y puede promover efectivamente el buen desarrollo de las economías regionales. Sin embargo, ante las diversas presiones de recursos, medio ambiente y población, la urbanización debe insistir en el desarrollo sostenible, fortalecer la planificación racional del espacio urbano, y poner la conservación de los recursos y la protección del medio ambiente en un lugar prioritario para construir una ciudad esponja y promover la armonía entre el hombre y la naturaleza.

El método de construcción de una nueva ciudad esponja, se ha comentado en el capítulo anterior. Para las ciudades construidas de la manera tradicional, se utilizan métodos de restauración de los espacios degradados, intentando reconstruir en la medida de lo posible las condiciones naturales de partida con el mínimo impacto ambiental, intentando minimizar las superficies impermeables.

6.1. Tecnologías implantadas en China

6.1.1. Cubiertas ajardinadas [3]

Este tipo de tecnología consiste en instalar jardines en las cubiertas de los edificios. Las cubiertas vegetales presentan beneficios ambientales y económicos: alivia el efecto de isla de calor de la ciudad, reduce la escorrentía de lluvia, reduce la contaminación del aire y mejora el paisaje. Son una tendencia de construcción en los edificios del futuro, y su desventaja radica en el cálculo de las estructuras de estos, ya que hay que tener en cuenta el mayor peso de la cubierta y la impermeabilización de la misma (*Figura 6*).

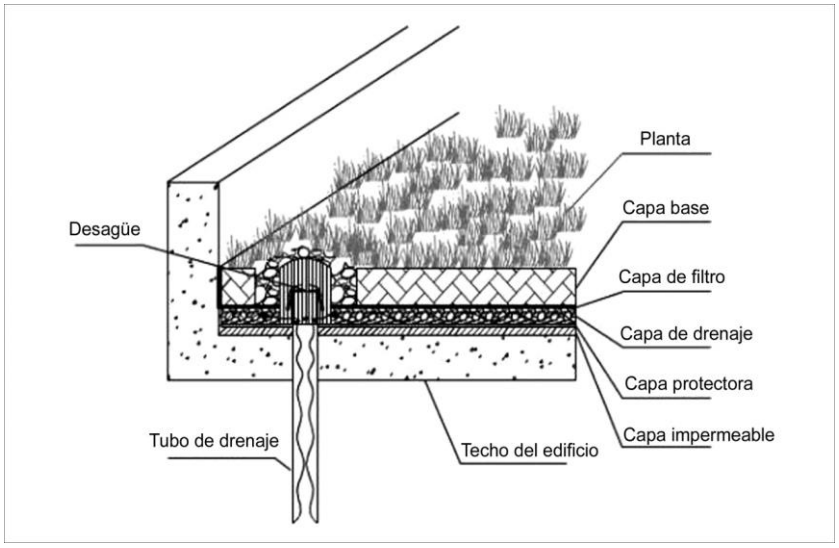


Figura 6. Diagrama esquemático típico de una cubierta vegetal (Fuente: *la guía*)

La capa de vegetación sirve como la pantalla, ya que absorbe el agua de lluvia y los nutrientes de la base del suelo [13]. También proporciona un espacio de crecimiento para el sistema de raíces de la planta y preserva parte del agua de lluvia. Para evitar la pérdida de pequeñas partículas y nutrientes en el suelo de siembra con la lluvia, y para evitar el bloqueo de las tuberías de drenaje, se instala una capa de drenaje debajo de la capa de sustrato. La capa protectora y la capa impermeable se utilizan como la base inferior de la cubierta vegetal y pueden colocarse en el techo de un edificio tradicional (*siempre y cuando se haya calculado que este va a aguantar el nuevo peso*). Su diseño por lo que, la selección de plantas y la selección de materiales subyacentes son muy importantes. Existen barreras físicas y

químicas en el mercado, así la calidad del material impermeable afectará directamente a su vida útil (*Tabla 7*).

Tabla 7. Comparativa de rendimiento básico de productos resistentes a la punción radicular común (Fuente: http://www.qikanchina.net/thesis/view/2987214)

	Características del producto	Ventaja	Desventajas
4.0mm Membrana impermeable de asfalto modificado con elastómero SBS / APP	Agregado compuesto de iones de cobre y otros inhibidores químicos de la raíz	Construcción del proceso de soldadura por fusión en caliente. La tasa de aprobación del experimento de bloqueo de raíz física y química, bloqueo de raíz es alta.	En la soldadura por fusión en caliente, si la temperatura es demasiado alta, el inhibidor de la raíz no será válido y el punto de soldadura se convertirá fácilmente en el punto débil de la resistencia de la raíz. . Con una superficie adherida con papel de aluminio, no es fácil soldar.
1.2mm Membrana impermeable de policloruro de vinilo (PVC)	Resistencia física		La capacidad de soldadura es pobre, y el punto de soldadura es fácil de convertir en un punto débil de resistencia de la raíz.
1.2mm Membrana impermeable de poliolefina termoplástica (TPO)	Resistencia física		La capacidad de soldadura es pobre, y el punto de soldadura es fácil de convertir en un punto débil de resistencia de la raíz.
2.0mm Revestimiento impermeable de poliurea en spray	Resistencia física	En la prueba experimental, el proceso de pulverización se utiliza para moldear una sola vez, sin costuras, y el efecto de la resistencia de la raíz es bueno.	El proyecto real también tiene un cierto grado de problema de superposición, y el punto de superposición se convertirá en un punto débil de resistencia de la raíz.
4.0mm Membrana impermeable asfáltica modificada con polímero autoadhesiva	Resistencia física		El sellador tiene poca durabilidad y envejecerá rápidamente, y las juntas del regazo no pueden prevenir las raíces.

6.1.2. Pavimento permeable [3]

El pavimento permeable es un material permeable sintetizado químicamente con alta porosidad, que se puede utilizar para vías por las que no circulen automóviles: pavimento de ladrillo permeable, pavimento de cemento permeable y pavimento de hormigón asfáltico. Una pavimentadora con fugas en la acera del jardín. La capa de grava también pertenece a la capa permeable.

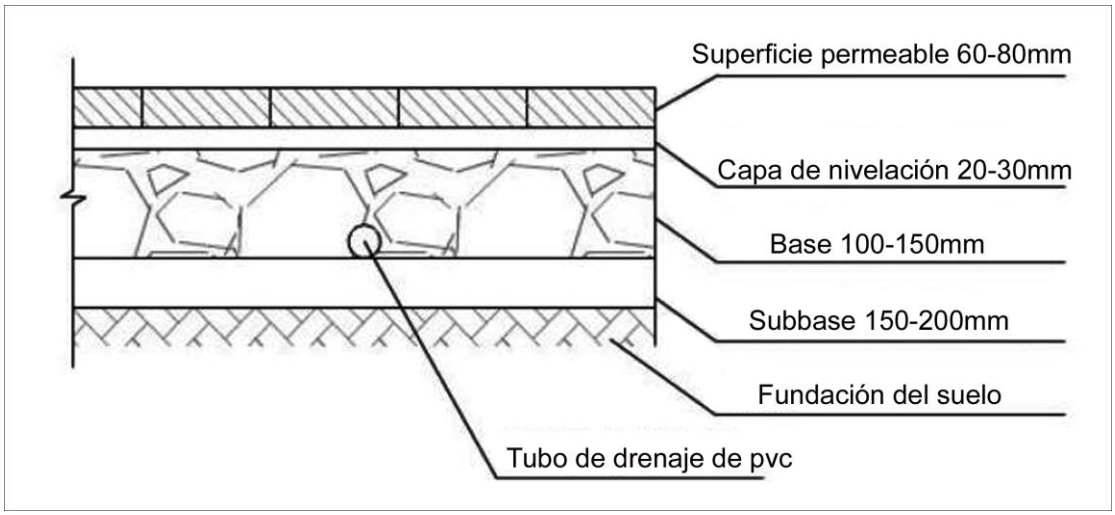


Figura 7. Esquema típico de pavimento permeable (Fuente: *La guía*)

Las diferentes especificaciones correspondientes a diferentes materiales permeables, si bien cumplen con los requisitos de las especificaciones, también deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

- Cuando el riesgo potencial de pavimento permeable a la resistencia y estabilidad de la calzada es mayor, se debe utilizar una estructura de pavimento semipermeable.
- Cuando la permeabilidad del terreno es limitada, se deben instalar tuberías de drenaje en la base permeable.
- Cuando el pavimento permeable se instala bajo rasante y al descubierto, el grosor de la cubierta en superficie no debe ser inferior a 600 mm y se proporciona una capa de drenaje.

En algunas áreas especiales, se deben tomar las medidas correspondientes para evitar la contaminación ambiental y los desastres geológicos:

- Debido a la calidad del suelo y la estructura del terreno, puede provocar el colapso de pendientes pronunciadas, deslizamientos de tierra y otras áreas peligrosas
- El pavimento permeable no debe instalarse en estacionamientos, talleres de reparación de automóviles, estaciones de servicio y secciones de carreteras con alto flujo de tráfico para evitar la contaminación ambiental y afectar la calidad del agua subterránea.

6.1.3. Espacios verdes hundidos [3]

Los espacios verdes hundidos, son instalaciones que se ubican topográficamente más bajas que el suelo circundante. Según el entorno circundante, recibe y almacena agua de lluvia para reducir la escorrentía. La vegetación que las coloniza es principalmente espontánea. Estos espacios verdes pueden tener muy poca profundidad (*20 cm*), o profundidades mayores y albergar volúmenes importantes de agua. El espacio verde hundido general generalmente se refiere a un cierto volumen de almacenamiento (*en la escorrentía El control del volumen total es el objetivo de la descomposición del objetivo o el cálculo del diseño, sin incluir el volumen de ajuste*), y se puede usar para almacenar y purificar la tierra verde del agua de lluvia de escorrentía, incluidas las instalaciones de retención biológica, estanques de infiltración, estanques húmedos, humedales de agua de lluvia, estanques de ajuste, etc. Los espacios verdes hundidos son ampliamente utilizados en plazas, parques y edificios circundantes. Este sistema se divide en conceptos micro y macro. Solo se usa para el drenaje en ambos lados de la carretera, y la capacidad de tratamiento del agua de lluvia es baja, lo que se denomina microconcepto. El alcance del concepto macro es relativamente grande, y la capacidad de tratamiento del agua de lluvia es grande, es similar a un humedal y un enorme tanque de recolección de agua, que puede continuar almacenando agua de lluvia e irrigando el agua de lluvia al jardín.

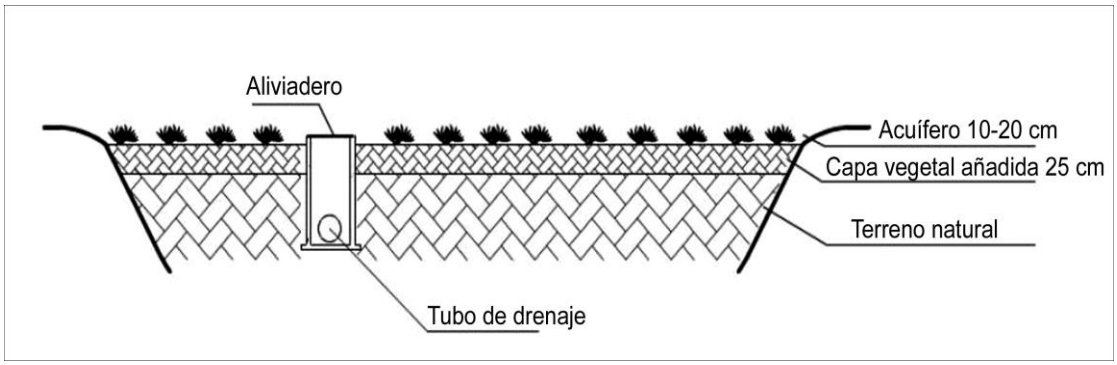


Figura 8. Esquema de un espacio verde hundido (Fuente: *La guía*)

El espacio verde estrecho y hundido debe cumplir los siguientes requisitos:

- La profundidad de la depresión se determina de acuerdo con los hábitos de la vegetación espontánea y la permeabilidad del suelo, generalmente de 10-20 cm.
- Por lo general, el aliviadero debe estar elevado entre 5 y 10 cm.

6.1.4. Jardín de agua de lluvia (*área de retención biológica*)

Los jardines de agua de lluvia son espacios verdes excavados (*naturales o artificiales*) que se utilizan para recoger y absorber las aguas pluviales de los tejados y la escorrentía superficial. El agua de lluvia es purificada por las plantas y la compleja estructura del suelo, penetra en el suelo, complementa el agua subterránea o el agua del paisaje. Es un centro de control de inundaciones y utilización de agua de lluvia ambientalmente sostenible. El jardín de aguas pluviales también se llama área de retención biológica, que se refiere a un área baja con árboles o arbustos plantados en el espacio verde. Retiene el agua de lluvia para complementar el agua subterránea y reduce los picos de inundación de la escorrentía superficial del agua de lluvia.

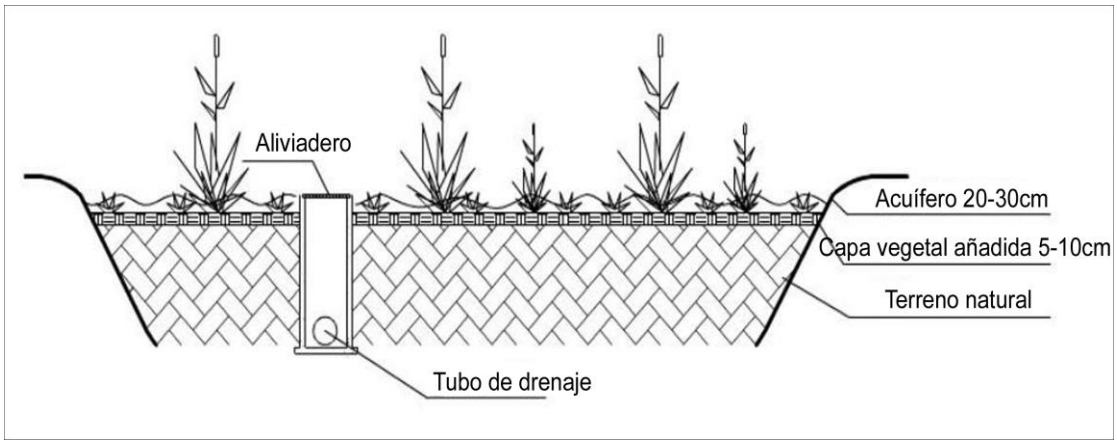


Figura 9. Diagrama de estructura de la retención biológica (Fuente: *la guía*)

La diferencia entre el jardín de lluvia y el verde hundido:

- Desde la perspectiva de la vegetación, el jardín de flores del agua de lluvia presta más atención al efecto del paisaje, y la tierra verde hundida es principalmente vegetación natural, que es relativamente simple.
- En términos de estructura, el jardín de agua de lluvia generalmente necesita diseñar una capa de filtro, y algunas unidades de diseño también tienen tuberías de filtración, desbordamientos y otros apéndices, y la estructura es relativamente complicada. La depresión del espacio verde es relativamente simple y el costo es más bajo.
- Desde la perspectiva del almacenamiento de agua de lluvia, los espacios verdes hundidos tienen un mayor tiempo de retención hidráulica debido a la mayor resistencia a las inundaciones de las plantas. Dado que el jardín de lluvia contiene parte del diseño del paisaje, se debe considerar la tolerancia de las plantas al diseñar el tiempo sumergido.

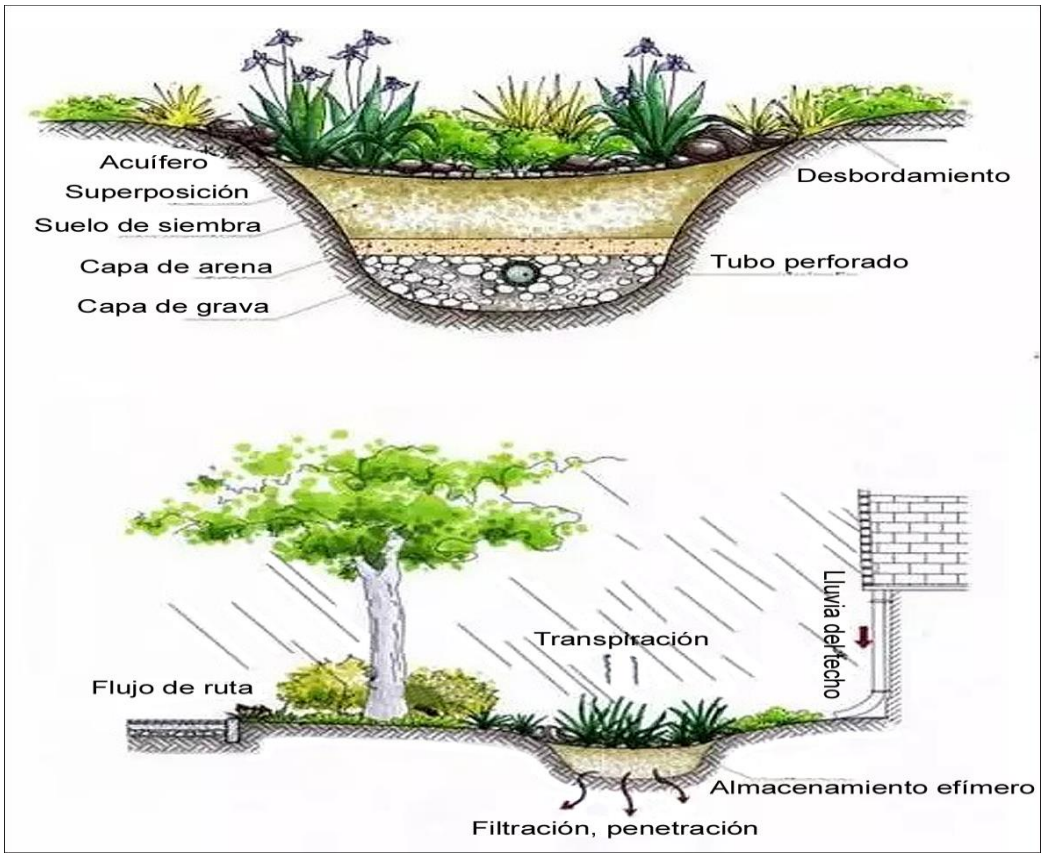


Figura 10. Diagrama esquemático del jardín de aguas pluviales

(Fuente: http://www.yushuisj.com/i/369.html)

6.2. ¿Por qué se necesita una planificación urbana razonable?

Durante los 40 años de reforma y apertura, China está experimentando una rápida urbanización, completando una transformación histórica de un país con una población predominantemente agrícola a un país con una población predominantemente urbana.

La rápida urbanización ha expuesto muchos problemas: anegamiento urbano, tierras cultivables reducidas, edificios abandonados de gran altura, etc. Planificar una ciudad racionalmente no debe perseguir ciegamente la grandeza, destruir la naturaleza y romper el equilibrio entre el hombre y la naturaleza. ¿Cómo se debe dar a las personas un sentido de felicidad y vida material práctica? Xu Kuangdi (*haga la declaración anterior en la Reunión Anual 2018 del Foro de Cien Personas Urbanas de China*) dijo que "*La nueva urbanización debe controlar estrictamente la expansión ciega de las megaciudades. El desarrollo de la urbanización ha concentrado continuamente recursos, fondos y oportunidades de desarrollo en las grandes ciudades, y el desarrollo de las ciudades pequeñas y medianas ha quedado rezagado, lo que ha dado como resultado megaciudades como Beijing, Shanghai y Guangzhou"*.

Detrás de la urbanización, el aumento de los bienes raíces se ha disparado, pero no ha proporcionado los empleos correspondientes para la población local. Detrás de los edificios de gran altura hay edificios abandonados (*edificios dañados*) que no se ajustan al alojamiento económico de la ciudad, por lo tanto, creo que la planificación de las ciudades: por un lado, es clave en la proporción de las infraestructuras, para evitar la aparición de ciudades de gran tamaño [15]; para evitar la concentración excesiva de mano de obra, lo que resulta en escasez de mano de obra y excedente en algunas ciudades. Por otro lado, la felicidad de las personas debe tener la máxima prioridad para que los ciudadanos puedan encontrar los trabajos correspondientes en la región y obtener recursos económicos.

Las áreas de residencia para residentes deben distribuirse en todas las direcciones alrededor de grandes hospitales, departamentos gubernamentales y escuelas., con fábricas distribuidas de acuerdo con las condiciones reales. Con centros comerciales que satisfagan las necesidades diarias de los residentes, y centros de salud que proporcionen atención primaria a los pacientes. Las escuelas chinas generalmente son internadas, por lo que no hay necesidad de pensar demasiado sobre el problema de los estudiantes que regresan a sus hogares y la tranquilidad del entorno, ni se sentirán perturbados por el ruido que les trae la bulliciosa ciudad. Centrándose en los intereses de las personas, los departamentos gubernamentales se sitúan en el centro de las ciudades. La concentración de residentes puede ahorrar recursos al momento de la planificación, ampliar la construcción de instalaciones permeables, usar pavimento de concreto impermeable en las carreteras principales y construir zanjas de drenaje en ambos lados de la carretera, lo que puede ayudar a recolectar agua de lluvia y reducir la infiltración de sustancias nocivas.

En las áreas residenciales, las personas se desplazan principalmente caminando y en bicicleta, lo que reduce en gran medida el uso de automóviles, por lo que podría propiciarse la utilización de calzadas permeables.

6.2.1. Tajea

La rápida urbanización, las rutas de tráfico entrecruzadas y la construcción de algunos túneles, hacen insuficientes las instalaciones de drenaje, por lo que cada vez que se producen las tormentas en verano, los colectores se inundan. Imaginé: en vista de esta situación, el puente de la alcantarilla se considera como un gran tanque de recolección de agua al aire libre. Este puente de alcantarilla solo es adecuado para carriles de dos vías no motorizados al lado, de modo que cuando hay agua, los vehículos de motor pueden tomar prestados caminos para pasar, de la siguiente manera La imagen muestra. Cuando no hay agua estancada, el puente de la alcantarilla se convertirá en un carril para vehículos motorizados. Precauciones para la construcción y

reconstrucción de puentes de alcantarilla: el problema del asentamiento de cimientos causado por la penetración. Cuando el problema del asentamiento de los cimientos está bien controlado, las geomallas también se pueden usar como materiales permeables en lugares donde se concentra la precipitación, colocándolas en lugares con menos presión.

Figura 11. Paso elevado de alcantarilla (Fuente: internet)

6.3. Cómo reducir y evitar el anegamiento

De acuerdo con las pautas de diseño para la construcción de ciudades de esponja, se utilizan diferentes pavimentos permeables en diferentes áreas de la ciudad, y pavimentos impermeables como auxiliares. Además de la construcción de la recolección de agua de lluvia subterránea, también es necesario proporcionar las instalaciones de almacenamiento de agua subterránea correspondientes. Lo más importante es el apoyo de las leyes y reglamentos y la orientación política [8] [12]. El tamaño de la ciudad debe ser razonable. El área del pavimento impermeable puede ser compensada por el

área de pavimento permeable del borde de la carretera. El tamaño irrazonable de la ciudad puede resultar en un desperdicio de recursos y aún más daños a la superficie permeable causados por el tráfico. Para medir si una ciudad está desarrollada, uno no solo debe enfocarse en la efectividad de su construcción económica. Cuando llegan fuertes lluvias, el gobierno de la ciudad también es indispensable para mostrar la capacidad de descargar inundaciones [5].

La razón objetiva para el anegamiento es que la intensidad de la lluvia es grande y el rango está concentrado. Resolver el problema del anegamiento de las tormentas urbanas requiere absorber conceptos y experiencia avanzados, considerando de manera integral medidas como la infiltración, el almacenamiento y la utilización del agua de lluvia, el drenaje y la reducción de la descarga de aguas residuales, el desvío de lluvia y aguas residuales, y el tratamiento y reutilización de aguas residuales, para construir una ciudad esponjosa científicamente planificada. Para las áreas urbanas de nueva construcción, debemos implementar estrictamente la planificación de acuerdo con los estándares de diseño de drenaje y drenaje recién promulgados, para evitar agregar nueva presión de drenaje. Para las áreas urbanas que se han construido, sobre la base de la evaluación de riesgos del anegamiento, la mejora debería comenzar en las áreas con el anegamiento más grave.

Las siguientes son algunas medidas para reducir el anegamiento (*Solo aplicable a áreas que no contaminan los acuíferos subterráneos*):

- El paso entre el camino endurecido y el espacio verde Durante las fuertes lluvias, la escorrentía superficial puede entrar suavemente en la tierra verde sumergida y ser absorbida por el suelo, por lo que no se formará agua subterránea.
- Diseñe tierras bajas al aire libre o zanjas de drenaje cerca de carreteras y edificios para facilitar el drenaje rápido.
- En las áreas bajas de la ciudad, se reserva una gran área de vegetación natural. Durante fuertes lluvias, la vegetación natural puede absorber la lluvia en grandes cantidades. Esto ayuda a reducir el

anegamiento, permitiendo que el agua de lluvia ingrese al suelo a través de las raíces de la vegetación y reponga el agua subterránea.

- Use materiales permeables como ladrillos, piedras y rejillas permeables tanto como sea posible para aumentar el área permeable.

7. Conclusión

En el proceso de urbanización, las personas se han centrado en el rápido crecimiento económico, ignorando el equilibrio de la armonía entre el hombre y la naturaleza. El desarrollo razonable de la naturaleza y la gestión eficaz del agua de lluvia son los fundamentos importantes para el desarrollo.

Las siguientes conclusiones se extraen en el documento:

- El documento describe el concepto de ciudad esponja, la relación entre la tecnología LID y la construcción de ciudades esponja, y resume y compara los conceptos de gestión de la lluvia de algunos países. La construcción de la ciudad debe controlar el área de penetración, proteger el ambiente ecológico natural y controlar el agua de lluvia desde la fuente. Las instalaciones en el sistema de drenaje urbano sostenible pueden lograr el efecto del enverdecimiento urbano y embellecer la ciudad.
- El desarrollo de la urbanización ha formado un efecto de isla de calor dentro de la ciudad, aumentando la frecuencia de fuertes lluvias de corta duración sobre la ciudad. Los cambios en el clima global también han provocado fuertes lluvias en China que el sistema de drenaje urbano no puede soportar. Para evitar y reducir la posibilidad de anegamiento urbano, es necesario planificar el diseño urbano de manera razonable y mejorar la gestión del agua de lluvia.
- Es necesario analizar y resumir la dirección guía del gobierno y los líderes chinos en la construcción de ciudades esponja.
- Es necesario revisar la guía de construcción de las ciudades esponja y presentar la dirección de planificación de la ciudad en la construcción de las mismas, la transformación del antiguo alcantarillado y la dirección de construcción del nuevo.

Bibliografía

[1] Li Mengqing. Aplicación y desarrollo del sistema de drenaje urbano sostenible [J]. 2018(21):250. 李孟青. 可持续城市排水系统的应用和发展, 农家参谋

[2] Instituto de ecología agrícola subtropical. La tecnología lleva sueños, la innovación cambia el futuro -- Ciudad Esponja, Academia China de Ciencias. 亚热带农业生态研究所:科技承载梦想, 创新改变未来 -- 海绵城市, 中国科学院, 2017-03-02 http://www.cas.cn/kx/kpwz/201703/t20170303_4592127.shtml

[3] Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano-Rural. Guía técnica para la construcción de la ciudad de esponja-construcción de un sistema de desarrollo de aguas pluviales de bajo impacto (*Pruébalo*). 住房城乡建设部：海绵城市建设技术指南— 低影响开发雨水系统构建（试行），2014-10

[4] Centro Nacional de Reducción de Desastres del Ministerio de Asuntos Civiles de la República Popular de China y la Oficina de Representación del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en China. Informe de la encuesta sobre las capacidades de gestión del riesgo de desastres por inundaciones urbanas, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 中华人民共和国民政部国家减灾中心和联合国开发计划署驻华代表处：城市洪涝灾害风险管理能力调研报告，联合国开发计划署，2017 https://www.cn.undp.org/content/china/zh/home/library/crisis_prevention_and_recovery/environmental-risk-identification-and-obviation-in-post-earthqua1.html

[5] Tan Shukui, Zhang Nan. Evaluación del status quo de la construcción de la ciudad de esponjas de China -- Tome 16 ciudades de esponja en China como ejemplo. 谭术魁, 张南.中国海绵城市建设现状评估——以中国 16 个海绵城市为例[J].城市问题, 2016(06):98-103.

[6] Wang Leyang, Wang Guoqing, Wan Sicheng. El modelo de utilización de recursos de lluvia e inundaciones en el extranjero y su referencia e iluminación para la construcción de la ciudad de la esponja de China. 王乐扬, 王国庆, 万思成. 国外雨洪资源利用模式及其对中国海绵城市建设的借鉴与启示[C]. 中国工程院土木、水利与建筑工程学部、中国土木工程学会、中国水利学会. 重塑绿色可持续发展城市水环境——2017（第三届）城市防洪排涝国际论坛

暨中英城市洪涝防治研讨会论文集.中国工程院土木、水利与建筑工程学部、中国土木工程学会、中国水利学会:中国土木工程学会,2017:12-16.

[7] Wang Weiwu, Wang Qin, Lin Hui, Gong Dijia, Zhang Shengwu. Resumen y perspectiva de la investigación sobre anegamiento urbano en China.王伟武,汪琴,林晖,龚迪嘉,张圣武.中国城市内涝研究综述及展望[J].城市问题,2015(10):24-28.

[8] Zhou Yu,Xu Yiqing, Qiu Chanhong. Investigación sobre la construcción de Sponge City en un área lluviosa en el sur de China -- Tome el condado de Ningxiang en la provincia de Hunan como ejemplo. 邹宇,许乙青,邱灿红.南方多雨地区海绵城市建设研究——以湖南省宁乡县为例[J].经济地理,2015,35(09):65-71+78.

[9] Zhang Yupeng. El concepto y la práctica de la gestión del agua de lluvia en el extranjero.张玉鹏. 国外雨水管理理念与实践[J].国际城市规划,2015,30(S1):89-93.

[10] Sun Fang. Investigación sobre el diseño del sistema vial urbano basado en Sponge City. 孙芳. 基于海绵城市的城市道路系统化设计研究[D].西安建筑科技大学,2015.

[11] Ye Bin, Sheng Dailin, Men Xiaoyu. Causas y contramedidas del anegamiento urbano. 叶斌,盛代林,门小瑜.城市内涝的成因及其对策[J].水利经济,2010,28(04):62-65+78.

[12] Qiu liyun. Reflexión filosófica sobre el desastre de la inundación -- Sobre el desarrollo coordinado del hombre y la naturaleza. 丘丽云.对洪灾的哲学反思 ——关于人与自然的协调发展问题 [J]. 湖南教育学院学报, 1999(03):41-46.

[13] Diao Wenyu. Investigación sobre diseño comunitario basado en el concepto de "ciudad esponja". 刁文玉. 基于“海绵城市”理念下的社区设计研究 [D].湖北美术学院,2017.

[14] Gu Aizhi. Investigación sobre la aplicación de la sabiduría tradicional china sobre la utilización del agua de lluvia en la construcción de Sponge City. 谷爱芝. 中国传统雨水利用智慧在海绵城市建设中的应用研究[D].郑州大学,2017.

[15] Yu Kongjian. Sobre el tratamiento ecológico del agua: "Ciudad esponja" y "País esponjo" 俞孔坚.论生态治水:“海绵城市”与“海绵国土”[J].人民论坛·学术前沿,2016(21):6-18.

[16] Tim D. Fletcher, William Shuster, William F. Hunt, Richard Ashley, David Butler, Scott Arthur, Sam Trowsdale, Sylvie Barraud, Annette Semadeni-Davies, Jean-Luc Bertrand-Krajewski, Peter Steen Mikkelsen, Gilles Rivard, Mathias Uhl, Danielle Dagenais & Maria Viklander (2015) 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

[17] HERNANDEZ SUAREZ, Carlos Orlando y MAIDA VARGAS, Carmen Ofelia. Sistema de Drenaje Urbano Sostenible. Rev tec u [online]. 2015, n.13 [citado 2020-04-15], pp. 03-13. ISSN 1991-6469.
<http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1991-64692015000100002&lng=es&nrm=iso>.

Anexos

Figura 1. Diagrama esquemático de principios de desarrollo de bajo impacto 4
Figura 2. Impacto de la urbanización en la hidrología 6
Figura 3. Esquema de la ciudad de esponja 11
Figura 4. Línea de demarcación geográfica de China 13
Figura 5. Mapa de distribución de precipitación anual en China 15
Figura 6. Diagrama esquemático típico de una cubierta vegetal 27
Figura 7. Esquema típico de pavimento permeable 29
Figura 8. Esquema de un espacio verde hundido 31
Figura 9. Diagrama de estructura de la retención biológica 31
Figura 10. Diagrama esquemático del jardín de aguas pluviales 32
Figura 11. Paso elevado de alcantarilla 35
Tabla 1. Comparación entre construcción tradicional de ciudad y construcción de ciudad esponja 4
Tabla 2. Comparación de norte y sur 14
Tabla 3. División de zonas secas y húmedas 18
Tabla 4. Distribución de precipitaciones en los últimos años 20
Tabla 5. Clasificación de ciclones tropicales 21
Tabla 6. Precipitaciones por provincias en los últimos años 21
Tabla 7. Comparativa de rendimiento básico de productos resistentes a la punción radicular común 28

AGRADECIMIENTOS

El tiempo pasa muy rápidamente, y mi máster va a determinar muy pronto. Aquí, me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que me han ayudado y se me han preocupado. Es su ayuda con la que he conseguido superar las dificultades, y es su guía con la que he resuelto las dudas que tenía.

Desde la selección del tema hasta la finalización de la tesis, la profesora Irene y el profesor Juan me han mostrado una nueva perspectiva sobre la construcción de la ciudad esponja. Ellos no solo me han enseñado cómo resuelvo los problemas sobre la acumulación de agua sino que también me han ayudado a comprender que para el uso eficiente del agua de lluvia debería prestar atención a la prevención y además el acuífero subterráneo está contaminado.

Finalmente, me gustaría agradecer a mis padres. Aunque no entienden el conocimiento de mi especialidad, cuando estaba confundido, siempre me dejaba encontrar una dirección, me inspiraba y me animaba.