



APROVECHAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES

IVÁN FERNÁNDEZ PÉREZ.
TUTORA PFC: DELFINA BERASATEGUI
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS II
ARQUITECTURA TÉCNICA, EPSEB - UPC
ENERO 2009



ÍNDICE:

01. INTRODUCCIÓN.....	3
02. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	7
2.1 LA ÉPOCA PRERROMANA	
2.2 LA DOMUS ROMANA	
2.3 LOS ALJIBES ÁRABES	
2.4 CULTURAS PRECOLOMBINAS	
2.5 LA CASA PAGESA IBICENCA	
2.6 EL DEPÓSITO DE LAS AGUAS Y EL PARK GÜELL	
2.6.1 EL DEPÓSITO DE LAS AGUAS	
2.6.2 EL PARK GÜELL	
03. EL AGUA DE LLUVIA: ANÁLISIS GENERAL.....	20
3.1 INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS GENERALES	
3.2 CONCEPTOS GENERALES	
3.3 PLUVIOSIDAD Y DÉFICIT HÍDRICO EN CATALUNYA	
3.4 EFECTOS EN GRANDES CONCENTRACIONES URBANAS	
3.4.1 EL CASO DE BARCELONA	
04. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES.....	32
4.1 INTRODUCCIÓN	
4.2 CONCEPTOS GENERALES	
4.2.1 MODELOS URBANÍSTICOS Y CONSUMO DE AGUA	
4.3 SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO EXISTENTES	
4.3.1 USOS	
4.3.1.1 EXTERIORES	
4.3.1.2 INTERIORES	
4.3.2 APLICACIONES INDIVIDUALES Y COLECTIVAS	
4.3.3 INSTALACIÓN, DIMENSIONES Y LIMITACIONES TÉCNICAS	
4.3.3.1 DEPÓSITOS ENTERRADOS	
4.3.3.2 DEPÓSITOS DE SUPERFICIE	
4.4 COSTES ECONÓMICOS	
05. APLICACIÓN EN JARDINES URBANOS.....	57
5.1 INTRODUCCIÓN	
5.2 DIMENSIONADO DE UNA INSTALACIÓN	
5.2.1 MÉTODOS DE CÁLCULO	
5.3 UN JARDÍN EN EL EIXAMPLE	
5.3.1 DATOS PREVIOS	

5.3.2	DIMENSIONADO	
5.3.3	PROPUESTA DE SISTEMA DE RECOGIDA DE PLUVIALES	
5.3.4	AMORTIZACIÓN Y VIAVILIDAD ECONÓMICA	

06.	CONCLUSIONES.....	73
07.	ANEXO I. PLANOS.....	75
08.	ANEXO II. PRESUPUESTO.....	76
09.	ANEXO III. BIBLIOGRAFÍA.....	80
10.	ANEXO IV. MAPAS DE PLUVIOSIDAD.....	85

01. INTRODUCCIÓN

“Water is the only scarce resource for which there is no substitute, over which there is poor developed international law, and the need for which is overwhelming, constant and immediate. As a consequence, ‘water’ and ‘war’ are two topics being assessed together with increasing frequency.”

(El agua es el único recurso escaso para el cual no hay sustituto, sobre el cual hay una pobre legislación internacional, y la necesidad del cual es irrefrenable, constante e inmediata. Como consecuencia, ‘agua’ y ‘guerra’ son dos conceptos que están siendo relacionados con una frecuencia cada vez mayor.)

Aaron T. Wolf, *Water Policy*, 1998 (Vol.1#2 p.251)

El agua es el único recurso fundamental común a todas las formas de vida conocidas. El ser humano ha aprovechado desde siempre todos los recursos hídricos disponibles, entre ellos el agua de lluvia. Pero según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), en el Siglo XX el consumo de agua ha crecido a un ritmo dos veces superior al de la población mundial. Precisamente es a principios del s.XX cuando se comienzan a canalizar las aguas de red pública, y se dejan de utilizar masivamente los aljibes y demás sistemas de recogida y almacenamiento de aguas pluviales, en uso desde el origen de las civilizaciones. Salvo en países del 3er mundo (donde la necesidad es imperiosa por el clima y la red pública de aguas es deficiente o inexistente) y en zonas rurales en general, el uso de sistemas de recogida y aprovechamiento de aguas pluviales ha sido esencialmente minoritario hasta hace muy poco tiempo.

Paradójicamente, ha sido en países del centro y norte de Europa, con menos urgencias hidrológicas pero con más conciencia ecológica (y precios por m³ de agua potable considerablemente superiores a los nuestros) donde se han reimplantado en las últimas décadas estos sistemas de recogida y aprovechamiento de aguas pluviales de cubiertas de edificios, que básicamente constan de una superficie de captación, los conductos de recogida de aguas, un filtro de entrada, un depósito con rebosadero y un sistema para bombear el agua almacenada. En el capítulo correspondiente hablaremos con detalle de los sistemas existentes y su ámbito de aplicación.

En la actualidad, cada ser humano de los países desarrollados y en vías de desarrollo consume de 150 a 300 l. de agua potable al día, llegando a extremos de 1000 l./hab. diarios en algunas ciudades de E.E.U.U. o Australia. En el cálculo no está incluido el gasto en la agricultura, que supone el 70% (y en algunas zonas en desarrollo el 90%) del consumo total de agua de un país. Una gran parte del agua que utilizamos a diario no tiene por qué ser potable: en lavadoras, descargas de inodoros, limpieza y riego de jardines se puede utilizar perfectamente agua de lluvia, lo que puede suponer una reducción en el consumo de agua potable de, al menos, un 45%. Se calcula que el gasto en descargas de inodoros supone el 40% del gasto total en agua potable en un hogar medio.

Es cierto que la situación actual (sequía y severas restricciones en la primera mitad de 2008) ha cambiado notablemente la percepción general en cuanto a usos responsables del agua potable en nuestro país. El nuevo Código de la Edificación, vigente desde 2007, prevé la instalación de depósitos de almacenamiento de aguas pluviales para determinados usos, y los gobiernos autonómicos y ayuntamientos gestionan ayudas destinadas a subvencionar las obras de instalación de sistemas de aprovechamiento de pluviales en edificios públicos y de viviendas. Obras que no suponen mayor problema en cuanto a diseño e instalación si se trata de un edificio de nueva construcción, pero que pueden suponer un quebradero de cabeza si es un edificio ya existente, puesto que no es habitual que se disponga del espacio y los requerimientos estructurales necesarios para la instalación de un depósito de varios m³, además de la necesidad de añadir una o varias unidades de gestión de caudales pluviales/ de red y un nuevo trazado de tuberías de agua pluvial que han de servir a los puntos requeridos en cocinas y baños de todas las viviendas. Estos factores inciden decisivamente en el coste y, por tanto, dificultan su implantación masiva.

En zonas como la costa mediterránea, donde el régimen de lluvias es irregular, y donde es habitual la alternancia de períodos de sequía con períodos de lluvias torrenciales, los sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales ofrecen una solución viable para reducir las consecuencias negativas de este tipo de clima, como son los cortes de agua o las restricciones de uso (prohibición de regar jardines, etc.). Mientras que el uso de aguas pluviales en el interior de viviendas en edificios existentes supone cierta dificultad en el diseño y ejecución, el uso de este recurso natural para riego de jardines urbanos resulta considerablemente más sencillo, puesto que no existen tantas

restricciones estructurales y/o espaciales y la instalación necesaria es menos problemática y costosa. Al analizar la viabilidad de las propuestas será necesario no ceñirse estrictamente a criterios económicos, y valorar también criterios de sostenibilidad y aprovechamiento de recursos naturales.

El objetivo principal del proyecto es poder establecer ciertos parámetros que permitan crear un protocolo de dimensionado de depósitos para riego de jardines urbanos. Centraremos el estudio en la zona de mayor concentración urbana de Catalunya, y se incluirán ejemplos prácticos de dimensionado de depósitos para pluviales en jardines urbanos.

La diversidad de climas existentes en Catalunya permitirá extrapolar las conclusiones obtenidas a un territorio muy amplio, lo cual aumenta las posibilidades de una aplicación práctica efectiva.

02. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El agua de lluvia ha sido desde siempre un recurso hídrico básico para los seres humanos, y hay múltiples civilizaciones a lo largo de la historia que han sabido desarrollar, muchas veces por extrema necesidad, sistemas de recogida de aguas pluviales para su posterior uso en épocas más secas. El *impluvium* romano, los *aljibes* árabes, los *chultunes* del Imperio Maya o los milenarios *shuijiao* en China son algunos de los ejemplos que ilustran las técnicas utilizadas por culturas muy diferentes para solucionar un mismo problema: la falta de agua.

2.1 LA ÉPOCA PRERROMANA

La revolución neolítica (hace unos 10.000 años, momento de gran evolución debido a la aparición de la agricultura, la ganadería, la alfarería, etc.) trae consigo un considerable aumento de población y comienzan a crearse asentamientos estables, cada vez de mayor tamaño. El cultivo y la ganadería, además del sedentarismo, probablemente empujaron a los pobladores de aquellos primeros asentamientos a encontrar alguna forma de recoger el agua de lluvia para su uso y el de sus animales y plantas. Hacia el 6200 a.C. se desarrolla la agricultura en el Mediterráneo occidental y, aproximadamente en el 3000 a.C., comienzan a aparecer primitivos núcleos urbanos en la costa oriental mediterránea. En el 2900 a.C., en la ciudad fenicia de Biblos o Gebal (*Gubla* según La Biblia y actualmente Djubayl, en El Líbano), habitada desde el Neolítico, como parte de las mejoras urbanísticas que, durante 1500 años, la han hecho pasar de ser un asentamiento de casas de adobe y ramas a una incipiente ciudad de casas de piedra, se concibe un complejo sistema de depósitos de agua de lluvia y canalizaciones para su aprovechamiento. La ciudad, además, ya dispone de alcantarillado para evacuación de aguas residuales. Biblos se asienta sobre un promontorio, sin pozos que puedan abastecer de agua a los habitantes, y dependen de la pluviosidad, que no es muy abundante y se concentra en determinadas épocas del año.

La búsqueda de una solución a la problemática que supone la escasez de pozos es común en todos los pueblos que habitan esa zona geográfica. En el Reino de Judea (en la actualidad, la zona de Jerusalén, Hebrón, Beer'Sheva...) hacia el 2700 a.C. ya funcionaban complejos sistemas de recogida de aguas pluviales compuestos por cisternas subterráneas, canales excavados en la roca que comunicaban con el exterior y piscinas a cielo abierto. Se estima que estuvieron en funcionamiento aproximadamente 400 años y se especula con el origen asirio de los restos arqueológicos encontrados, pero lo que es evidente es que las civilizaciones que durante milenios ocuparon esa región desarrollaron elaborados procedimientos destinados a aprovechar todos los recursos hídricos existentes.



Figura 1. Restos arqueológicos de Balaat Gebal, El Líbano.

Los filósofos griegos desde Tales de Mileto, en el 650 a.C., se han preguntado por el origen de las aguas subterráneas, pero el primero en relacionar el agua de los manantiales con la filtración del agua de lluvia fue Aristóteles.

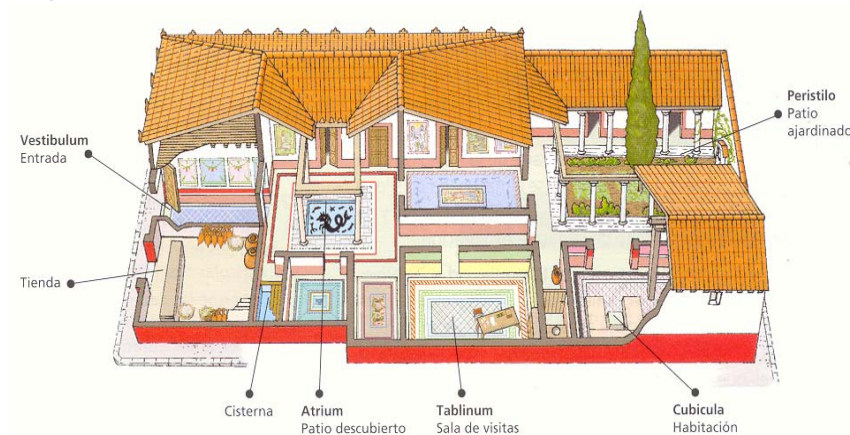
En el siglo I a.C., el arquitecto romano Marco Vitrubio describe por primera vez el ciclo hidrológico.

Las casas etruscas y griegas tienen la tendencia, generalizada en todo el Mediterráneo, de modularse alrededor de un patio rectangular abierto, por donde entra el aire y el agua de lluvia. En la Península

Ibérica, Cartagineses e Íberos también construyen depósitos para almacenar agua de lluvia en los siglos III y IV a.C., pero es durante el dominio del Imperio Romano cuando se incidirá especialmente en la creación de un sistema funcional de recogida de aguas pluviales en las viviendas para el uso de sus habitantes.

2.2 LA DOMUS ROMANA

La vivienda de las clases altas en Roma, conocida como *domus*, sintetiza parte de la tradición arquitectónica mediterránea al articularse alrededor de patios interiores. Cuenta con un estanque en el *Atrium* o patio situado en la entrada de la casa, el *Impluvium*, que almacena las aguas de lluvia que recoge el *Compluvium*, hueco en la cubierta con la pendiente de los faldones orientada hacia el interior. Es habitual que el *Impluvium* esté conectado con una cisterna, muchas veces situada bajo las escaleras que suben a los pisos superiores, a modo de depósito cerrado.



También es conocida la técnica del suelo radiante a modo de calefacción en el invierno: el agua del depósito, que se va calentando por convección

al pasar cerca de una fuente de calor, llena unos pequeños canales situados bajo el pavimento pétreo, lo que hace que éste se caliente y la casa se caldee.

El patio situado en la zona más privada de la casa, el *Peristilum*, está destinado a jardín, aunque habitualmente también alberga un pequeño huerto. Las cubiertas recogen el agua de lluvia, como en el *Atrium*, aunque aquí se destina al riego del jardín y no se almacena. Este segundo patio es herencia de griegos y etruscos. Poco a poco, el *Peristilum* irá cobrando importancia en detrimento del *Atrium*, que pierde su función en el siglo I d.C. Es entonces cuando el *Peristilum* asumirá las funciones de captador de aguas de lluvia para su almacenamiento.

La anexión de nuevos territorios trae consigo, entre otras cosas, la urbanización al modo romano de las zonas habitadas conquistadas, y la *domus* se extiende por todo el Imperio.



Figura 2. Atrio de domus. Impluvium

2.3 LOS ALJIBES ÁRABES

Aljibe: del vocablo árabe hispánico al-gubb (que, a su vez, proviene de árabe clásico gubb).

Se podría decir que el agua es uno de los ejes fundamentales de la arquitectura árabe. Se le atribuye un poder purificador. Existe la necesidad, por tanto, de hacerla llegar a toda la población, y se habilitan lugares adecuados (baños públicos, etc.). Es importante también en el acondicionamiento de espacios, disminuyendo la temperatura ambiente y proporcionando sensación de frescor y relajación. Está presente en palacios, en patios, en mezquitas... Según el Corán, El Paraíso es un vergel de plantas, manantiales y fuentes, lleno de sombra y frescor y el susurro del agua fluyendo.

Dado que la cultura árabe se expandió por el norte de África, sur de Europa y Oriente Medio, es evidente suponer que los rigores climáticos de esta zona geográfica los empujaron a desarrollar al máximo las técnicas necesarias para disponer de un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia eficaz.

Utilizado ampliamente en toda el área de influencia árabe, es en Al-Ándalus, entre los siglos VIII y XV d.C., donde se perfecciona al máximo el sistema de almacenamiento de aguas pluviales mediante

aljibes. Estos depósitos, la mayor parte de las veces enterrados o semienterrados, se alimentan de la lluvia que reconducen cubiertas, patios y canales. Se construían con ladrillo y argamasa, y la cara interna se revestía de cal, arena, arcilla roja, óxido de hierro y resina de lentisco (arbusto presente en zonas mediterráneas áridas, muy resistente a la falta de agua) para evitar filtraciones y la putrefacción del agua.

Tal es la perfección técnica de de estos sistemas que abastecían de agua a toda la ciudad, que siguieron en funcionamiento muchos siglos, hasta la implantación del sistema de agua potable de red. Buenos ejemplos de ello son muchas ciudades de la península, como Cáceres, Almería o Granada, ciudades donde se conservan un gran número de aljibes (26 solamente en el Albayzín), algunos de ellos en uso.

Aunque la gran mayoría de aljibes se dejaron de utilizar a mediados del siglo XX (debido a la instauración del sistema de red de aguas públicas y no a la degradación o mal funcionamiento de los depósitos) en los últimos años se han llevado a cabo obras de restauración que han permitido la recuperación de muchos espacios y su rehabilitación funcional.

El uso del aljibe se extendió por la península, y en algunas zonas rurales sigue vigente hoy en día. En muchas zonas de Marruecos y,



en general, de todo el Magreb, su utilización es cotidiana y no ha dejado de serlo en los últimos siglos. Criterios de sostenibilidad están provocando una revitalización de este tipo de sistemas en la actualidad.

Figura 3. Aljibe.
(Cáceres)

2.4 CULTURAS PRECOLOMBINAS

La civilización maya se expande desde el 1600 a.C. por Mesoamérica, zona geográfica que comprende la Península de Yucatán y los estados de Quintana Roo, Tabasco y Chiapas en México, Guatemala, Belice, Honduras y una parte de El Salvador y Nicaragua.

Mientras que la zona sur y centro de ese territorio está recorrida por múltiples ríos y tiene mucha superficie de selva húmeda, la mitad norte de la Península de Yucatán es una extensa planicie, sin ríos y sin apenas agua superficial, carencia que se acrecienta a medida que se avanza en dirección norte. Las comunidades mayas que habitan la región intentan suplir esta falta de agua superficial con el agua que aflora en los *cenotes*, y mediante *aguadas* y *chultunes* recogen la valiosa agua de lluvia. Tras la temporada seca, la pluviosidad de la zona es de aprox. 1100 mm/m² en la temporada húmeda, un gran volumen del que dependerá la supervivencia de seres humanos, animales y cultivos el resto del año

Un *cenote* es un depósito natural de agua cerca de la superficie, aunque se encuentra bajo ella y se accede a través de pozos, cuevas, corredores... Las *aguadas* se encuentran a cielo abierto, y son lagunas artificiales donde se acumula el agua de lluvia de las edificaciones y zonas urbanizadas colindantes.

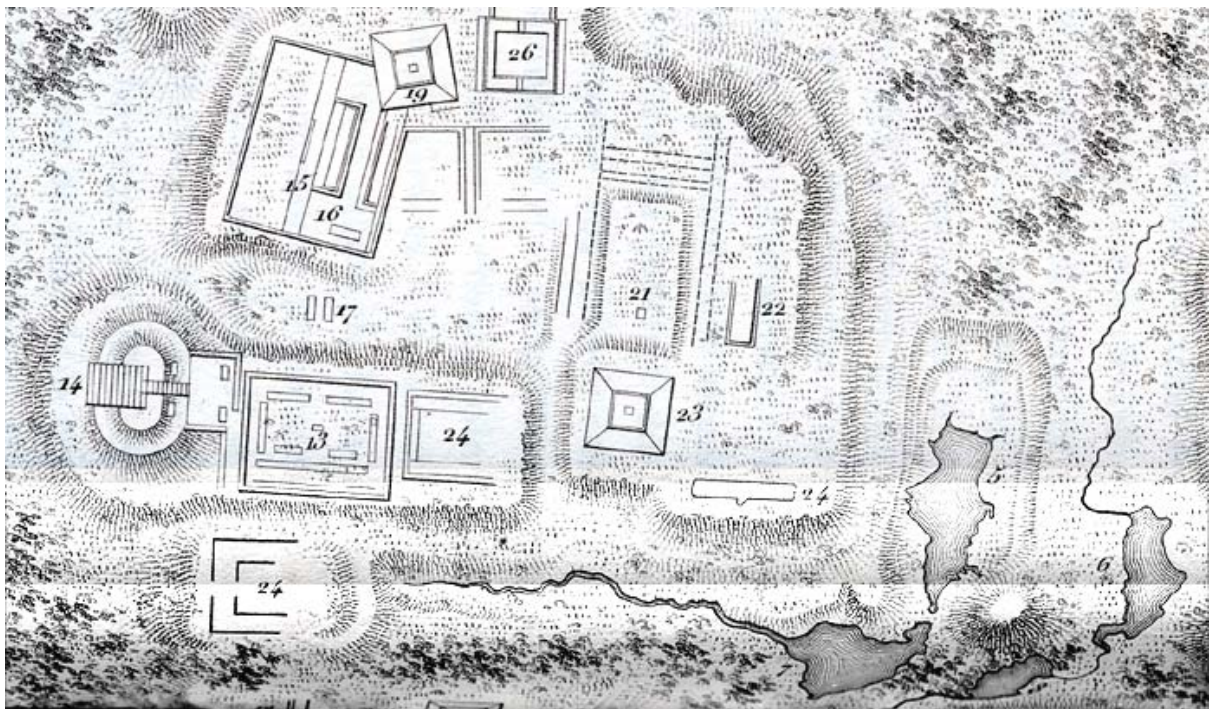
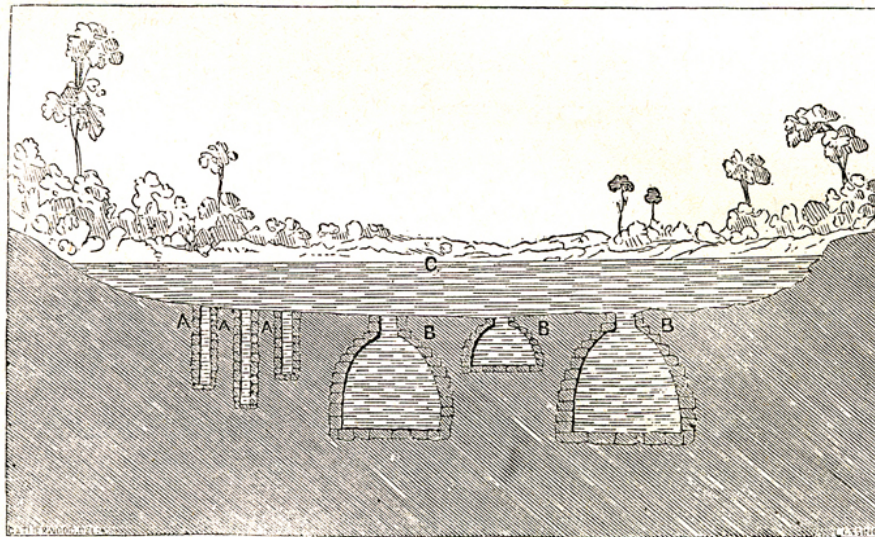


Figura 4. Tres de las aguadas más próximas a Uxmal, en Yucatán (México), nº 5, 6 y 7.

Los mayas, conocedores de las matemáticas y capaces de ejecutar grandes obras de arquitectura e ingeniería hidráulica, idean un sistema para reconducir las aguas pluviales recogidas por cubiertas de edificios, plazas, calles y elevaciones del entorno. Utilizando la fuerza de la gravedad, el agua fluye a través de canalizaciones hasta las *aguadas* (Fig. 4 y 5) situadas en los alrededores. Allí, grandes cantidades de agua se almacenan para el uso de toda la comunidad.



Se calcula que las 14 *aguadas* de la ciudad de Tikal, durante el período clásico (del 300 al 900 d.C.), tenían una capacidad de más de 150.000 m³.

Figura 5. Sección transversal de una aguada maya.

También se construyeron cisternas subterráneas, llamadas *chultunes* en maya yucateco, consistentes en un pozo excavado en la tierra, una boca de entrada a ras de suelo y una superficie de captación de agua de lluvia, normalmente hecha de piedra, circular y ligeramente inclinada hacia el centro, donde se sitúa la boca del depósito. Esta superficie de captación solía tener varios metros de diámetro, en función del tamaño del depósito.



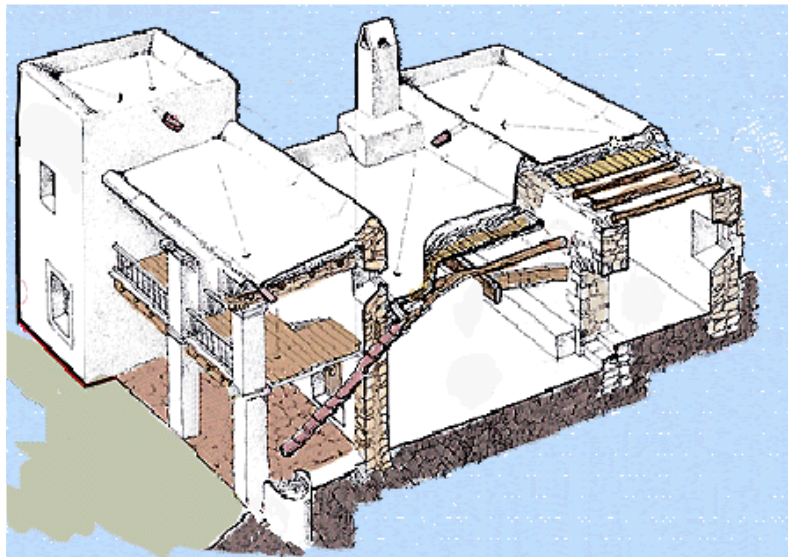
Figura 6. Chultún situado frente al palacio de las Máscaras (Codz Pop) en Kabah, Yucatán (México). Las máscaras de la fachada representan a Chac, el dios maya de la lluvia.

Algunos *chultunes* estaban situados en emplazamientos de especial importancia, como templos o lugares de celebración de rituales. Es fácil deducir, por tanto, que el agua de lluvia recogida en esos depósitos concretos era utilizada en ese tipo de ceremonias (fig.6).

2.4 LA CASA PAGESA IBICENCA

Sería difícil encontrar un ejemplo más claro de adecuación al entorno y arquitectura sostenible que la *casa pagesa eivissenca*, la vivienda rural tradicional de Ibiza, en las Islas Baleares. Muy presentes todavía en el paisaje ibicenco, algunas teorías asignan el origen de estas construcciones a los fenicios, que las importaron del Este del Mediterráneo, zona geográfica con un clima muy similar al existente en Ibiza.

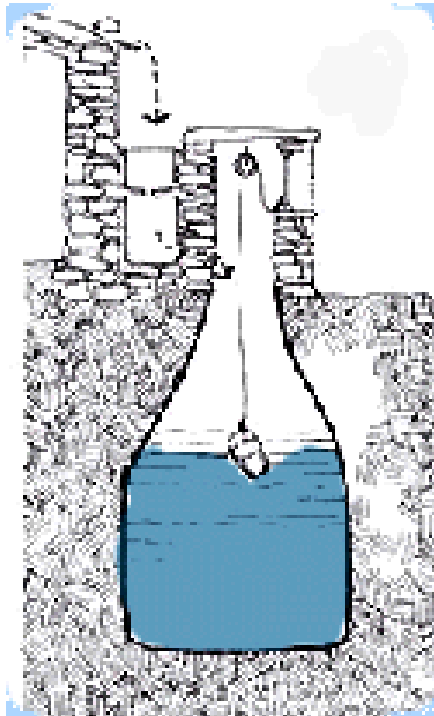
En la isla no hay cursos de agua permanentes, no hay ríos. La superficie es predominantemente caliza, lo que provoca la rápida infiltración de las aguas pluviales a los acuíferos, y existen *els torrents*, cauces por donde corren las aguas pluviales en las épocas de lluvias, en otoño. Algunos de estos cauces son relativamente permanentes, debido a la existencia de algunas capas impermeables superficiales



(p.e. zona de Santa Eulalia). Pero en la mayor parte de la isla el agua se infiltra rápidamente, y si el *pagès* no cuenta con un pozo para acceder a las aguas subterráneas, el almacenamiento de aguas pluviales es fundamental.

Figura 7. Casa rural ibicenca. Abajo y en primer plano, la entrada al depósito de pluviales. La canalización conduce las aguas de todas las cubiertas hacia la entrada del depósito, que está bajo tierra.

Idealmente situada en el terreno mirando hacia el sur y con la pendiente a su espalda para protegerse de los vientos fríos y húmedos del norte, la *casa de pagès eivissenca* cuenta con un sistema muy eficiente de aprovechamiento de aguas de lluvia.



La pendiente del terreno permite que las cubiertas desagüen unas en otras, y el agua se reconduce hasta una canalización que la lleva a la cisterna (fig.6). Situado a la entrada de la misma y al nivel del suelo hay un pequeño depósito de intercepción donde se recogen los restos (hojas, polen, polvo, excrementos de aves etc.) arrastrados por el agua de las cubiertas. Tras ese filtrado, el agua llega en mejores condiciones al depósito definitivo. Éste está enterrado (fig.8), tiene forma de botella y cuenta con una tapa y una polea y un cubo para la extracción. La superficie interior está cubierta con una capa de cal para desinfectar el agua almacenada, que se mantiene en buenas condiciones debido a la oscuridad y temperatura.

Figura 8. Detalle del depósito de intercepción y cisterna, con tapa, polea y cubo.

2.6 EL DEPÓSITO DE LAS AGUAS Y EL PARK GÜELL

En el diseño de estos dos parques (con muy diferentes concepciones y usos en su origen) se tuvo en cuenta el almacenamiento de las aguas pluviales para su posterior uso en el riego de sus zonas verdes. Las soluciones adoptadas difieren sustancialmente: mientras que en el *Parc de la Ciutadella* Fontseré proyectó un edificio que fuese en sí mismo el depósito, Gaudí en el *Park Güell* “escondió” un depósito bajo la *Sala Hipóstila* para recoger las aguas del pavimento flotante del forjado superior.

2.6.1 EL DEPÓSITO DE LAS AGUAS

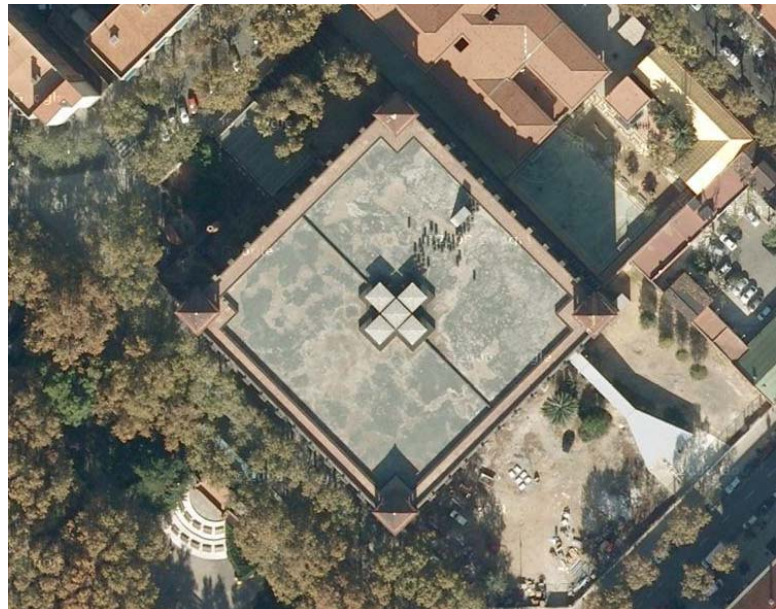
Proyectado en el año 1874 por Josep Maria Fontseré i Mestre, director



de las obras del Parc de la Ciutadella, y situado en la C/ Wellington, el objeto del edificio es ser el depósito regulador de las aguas de riego del parque y alimentar la cascada. Para ello cuenta con una gran cisterna en la cubierta, que también almacena agua de lluvia, y un

espacio interior donde se distribuyen una serie de espacios abovedados realizados con una potente estructura de fábrica de ladrillo que soporta el gran peso que supone la masa de agua acumulada.

Desde 1886, además de depósito de agua en la cubierta, el interior cumplió funciones tan diferentes como las de asilo municipal, almacén del parque de bomberos o archivo del *Palau de Justícia*. En la Exposición Universal de 1888, la planta piso rehabilitada albergó el Pabellón de Minería y Construcción. Durante el siglo XX, el interior ha albergado, entre otras cosas, unos estudios cinematográficos.



Figuras 9 y 10.

Dipòsit de les Aigües, Parc de la Ciutadella, actual Biblioteca Central UPF (Paricio y Clotet, 1992)

En 1988, en un estudio destinado a rehabilitar el edificio para usos públicos realizado por los arquitectos Ignacio Paricio y Lluís Clotet, se llega a la conclusión de que, durante sus 105 años de vida, el comportamiento del inmueble ha

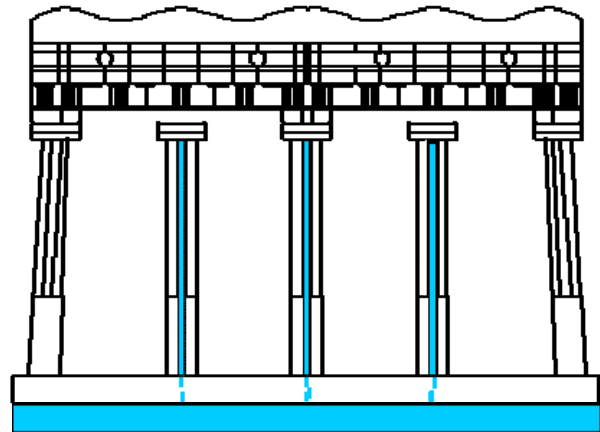


sido inmejorable debido lo robusto de su estructura y a la protección térmica que proporciona la cubierta de agua, entre otros motivos. El año 1992 se inician las obras para convertir el espacio existente bajo el depósito en la Biblioteca General de la Universitat Pompeu Fabra. Para garantizar la estanqueidad de las instalaciones y minimizar el contacto con el agua, se reduce la capacidad de la cisterna de cubierta. Además, se construyen cinco lucernarios que permiten el paso de la luz natural a la biblioteca.

2.6.2 EL PARK GÜELL

Mientras que el Parc de la Ciutadella se concibió como una zona ajardinada en la ciudad (tras alojar esos terrenos otros usos menos útiles para los ciudadanos), Eusebi Güell pidió a Gaudí que proyectase el Park Güell para ser una ciudad-jardín para la burguesía barcelonesa. La idea del conde se inspira en las ciudades-jardín inglesas, donde la aristocracia construye sus mansiones y casas de descanso. Se ejecutan las obras entre los años 1900 y 1914, y se divide el terreno disponible para viviendas en parcelas de 1000 y 2000 m². El lugar donde se sitúa el parque no cuenta con demasiada vegetación, es la llamada *Muntanya Pelada*. El arquitecto decide repoblar los terrenos con especies vegetales autóctonas, más resistentes y con menos necesidades hídricas. Tras el fracaso de la idea (sólo se compran tres parcelas, y Gaudí una de ellas) y la muerte del conde, en 1922 el Park Güell se abre al público.

La Sala Hipóstila es el lugar de instalación del mercado de vendedores itinerantes. Sobre esta sala se sitúa la Plaza de la Colonia, lugar de reunión de la comunidad y de celebración de actos religiosos y culturales. En épocas de lluvia, en la Plaza de la Colonia se acumulan las aguas de escorrentía procedentes de la montaña. Gaudí sitúa bajo la Sala Hipóstila un depósito para acumular las aguas pluviales para, según su idea inicial, dotar de cierta autonomía a la colonia, aunque se utilizasen finalmente para el riego de los jardines del parque.



El depósito, que tiene un volumen de 1200 m³, recoge las aguas que se filtran a través del pavimento de arena y grava compactada de la plaza y bajan a través de unos conductos situados en el interior de las columnas interiores de la sala. El pavimento de la plaza permite que ésta no se encharque, aunque sea el lugar de desagüe natural de las colinas circundantes cuando llueve. El rebosadero del depósito se encuentra en la boca de la salamandra situada en la escalinata de llegada.

En 1985 se realiza un estudio para la rehabilitación del parque que revela problemas en las columnas de la Sala Hipóstila provocados por los conductos que llevan las aguas pluviales al depósito.

Figuras 11 y 12. Sala Hipóstila y detalle de los conductos interiores.

03. EL AGUA DE LLUVIA: ANÁLISIS GENERAL

3.1 INTRODUCCIÓN

El objeto de este capítulo es el análisis del agua de lluvia, en concreto de algunos aspectos que afectan directamente al tema general de este trabajo. Hablaremos de pluviosidad, déficit y estrés hídrico. Se incluirán datos gráficos y numéricos de la pluviometría de la zona geográfica en la que nos centraremos, que es la costa mediterránea de Catalunya. Se incidirá en el estudio de la ciudad de Barcelona, donde convergen una serie de características de especial interés (situación geográfica, densidad de población, régimen pluviométrico peculiar con situaciones periódicas de lluvias torrenciales, recientes restricciones de riego de jardines, etc.), que la convierten en un ejemplo perfecto para extrapolar resultados en cuanto a la aplicación de sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales para riego de jardines urbanos.

3.2 CONCEPTOS GENERALES

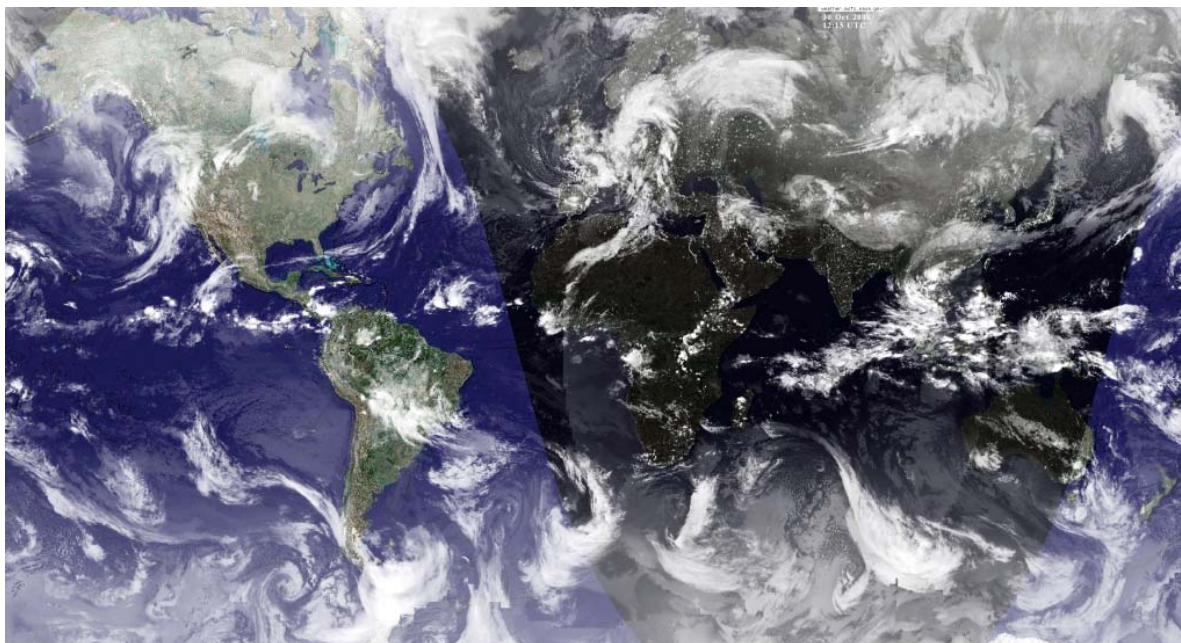


Figura 1. Superficie terrestre y agua atmosférica.

Se calcula que en la Tierra hay un volumen total de agua de 1.4 millones de km³, de los cuales el 97.5 % es agua salada. El 2.5 % restante es agua dulce y se reparte mayoritariamente en glaciares (aprox. 70%) y aguas subterráneas (aprox. 30%) y sólo el 0.4% corresponde a aguas superficiales (vapor de agua, ríos, lagos y embalses), lo que supone solamente un 0.007% del total de agua del planeta.

El volumen correspondiente al vapor de agua incluye el agua presente en la atmósfera, que forma las nubes y cae en forma de lluvia (también granizo o nieve) sobre la superficie terrestre cuando se condensa. El agua de lluvia es parte esencial del ciclo hídrico. Todo esto es bien conocido por todos, por lo que no nos detendremos más de lo estrictamente necesario.

El pH del agua de lluvia no contaminada es de aprox. 5'6. Es habitual es que el pH sea un poco más alto debido al polvo calizo que arrastra el viento y cae con la lluvia (aún así, es mucho más bajo que el pH del agua de red, responsable de la clorosis que sufren un gran número de especies vegetales en las ciudades). Cuando hay óxidos de nitrógeno y azufre presentes en el aire debido a la contaminación industrial, al combinarse con el vapor de agua se forman ácidos nítrico y sulfúrico, que al ser arrastrados por la precipitación forman el fenómeno conocido como lluvia ácida, con unos rangos de pH comprendidos entre 4'2 y 4'4.

Llamamos *pluviosidad* a la cantidad de precipitación caída en una determinada zona geográfica en un período concreto de tiempo. La pluviosidad media anual en España es de aprox. 650 mm/m² (1 mm/m² = 1 l/m²). Localmente, oscila entre los más de 2500 mm/m² de Lugo o Navarra y los escasos 200 mm/m² de algunas zonas de Almería, donde la desertización avanza a causa de un *déficit hídrico* crónico.

Al ser las precipitaciones las encargadas de nutrir, directa o indirectamente, los embalses, pantanos, ríos y acuíferos de los que el ser humano habitualmente obtiene el agua potable para su consumo, la baja pluviosidad (o en algunos casos la ausencia total de precipitaciones) en determinadas zonas geográficas afecta directamente a millones de personas, que sufren restricciones de uso cada vez más habituales. Globalmente, cientos de millones de seres humanos en el mundo viven por debajo del *umbral de estrés hídrico*, como muestra la figura 2.

El cálculo del *estrés hídrico* está basado en el ratio entre el volumen de agua consumida (suma de la demanda doméstica, industrial y agrícola) y el volumen de agua de suministro disponible.

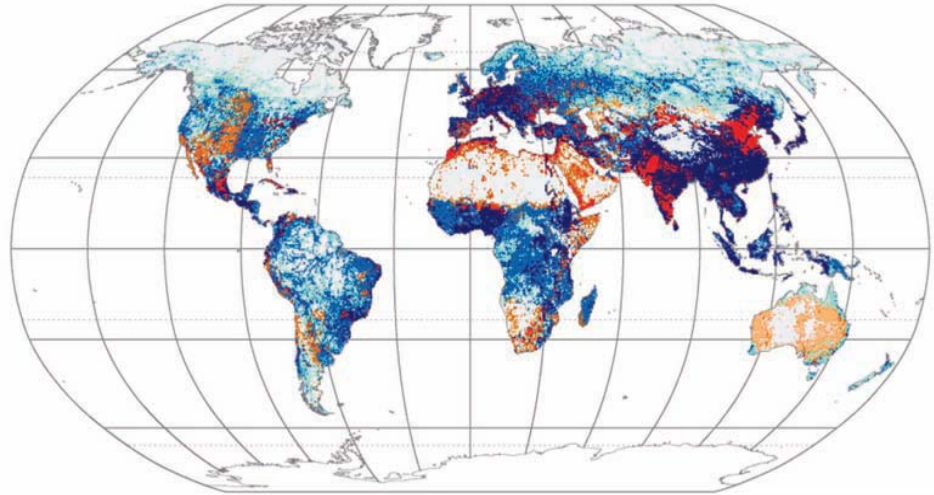


Figura 2. Población mundial y umbral de Estrés Hídrico

Se considera que el umbral de estrés hídrico se sitúa en $RWSI = 0.4$ ($RWSI$ = Relative Water Stress Index o Índice de Estrés Hídrico Relativo). En el gráfico, la intensidad del color indica la densidad de población: en tonos azules las zonas con $RWSI > 0.4$; en naranja y rojo las áreas donde el $RWSI$ es igual o menor de 0.4, y el color blanco indica zonas muy poco pobladas. Es fácilmente apreciable que muchos habitantes de la península ibérica sufren estrés hídrico. Lo comprobamos a diario: restricciones, permanentes campañas a favor del ahorro de agua potable, cortes de suministro circunstanciales, etc. se han hecho habituales los últimos años.

Al analizar la pluviosidad (cantidad, calidad, incidencia en el ciclo hídrico, etc.) se hará necesario resaltar las características especiales que se dan en las ciudades, ya que, mientras que en las zonas rurales o con poca superficie urbanizada el agua de lluvia sigue su ciclo habitual, en las zonas urbanas no sucede igual, debido a una serie de factores intrínsecos al concepto de ciudad que, como veremos, intervienen decisivamente en el proceso.

3.3 PLUVIOSIDAD Y DÉFICIT HÍDRICO EN CATALUNYA

En Catalunya se dan muy diversos climas, debido a su compleja orografía, que incluye desde alta montaña hasta costa mediterránea. Las precipitaciones anuales acumuladas localmente oscilan de los 1400 l/m² de la zona pirenaica de Vielha o la Vall de Boí a los escasos 400 l/m² recogidos en Cervera, Lleida o Flix. (fig.3)

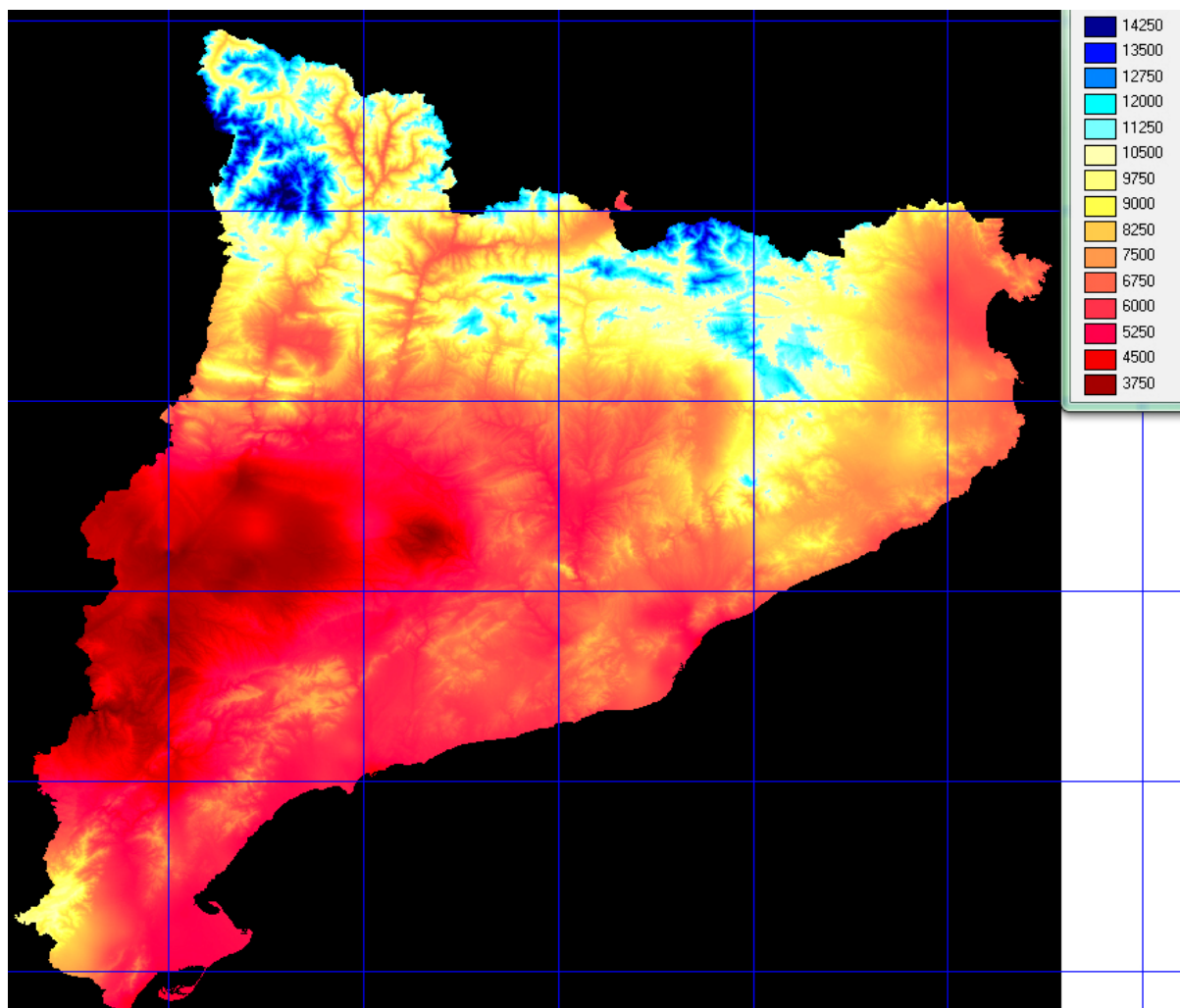


Figura 3. Mapa de Pluviosidad Anual en Catalunya. Cantidades en decenas de mm. (Atlas Climàtic Digital de Catalunya, UAB 2001)

Mientras que otras zonas de la península reciben precipitaciones más o menos repartidas a lo largo del año, en la costa mediterránea catalana las lluvias se concentran en los meses de otoño, principalmente septiembre y octubre (por ejemplo Barcelona, con 85 y 100 mm/m² de media respectivamente en los últimos años) (fig. 4 y 5).

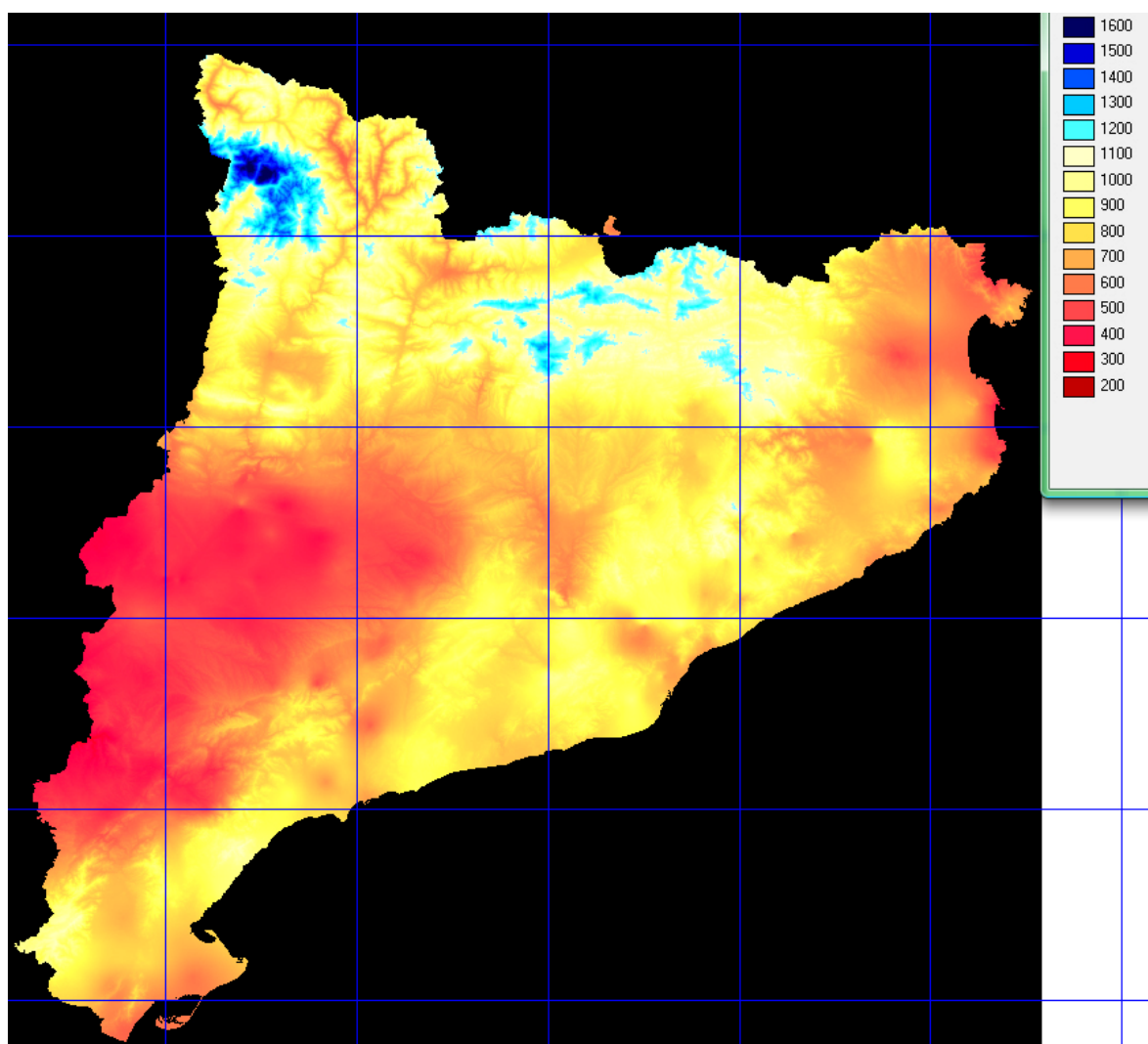


Figura 4. Mapa de Pluviosidad de Septiembre en Catalunya. Cantidades en décimas de mm. (*Atlas Climàtic Digital de Catalunya, UAB 2001*)

En la zona metropolitana de Barcelona se registran unas cantidades anuales comprendidas entre 600 y 675 mm., lo que supone de 600 a 675 l/m². Hay que recordar que gran parte de esas lluvias caen en unos meses muy concretos. Son habituales en esos meses episodios de lluvias torrenciales, provocadas por la elevada temperatura del mar después del verano. Estas precipitaciones se caracterizan por descargar un gran volumen de agua en un periodo corto de tiempo (en algunos casos, más de 200 l/m² en pocas horas, lo que significa 1/3 del volumen anual de lluvias). Tal cantidad de agua en tan poco tiempo no empapa la tierra convenientemente, y corre turbulentamente por los torrentes, calles y canalizaciones de las zonas afectadas. Es la lluvia menos provechosa, pero la más cuantiosa. La costa mediterránea, que sufre periódicamente (una o más veces al año) este

tipo de precipitaciones, es la idónea para la instalación de sistemas de almacenamiento de lluvias.

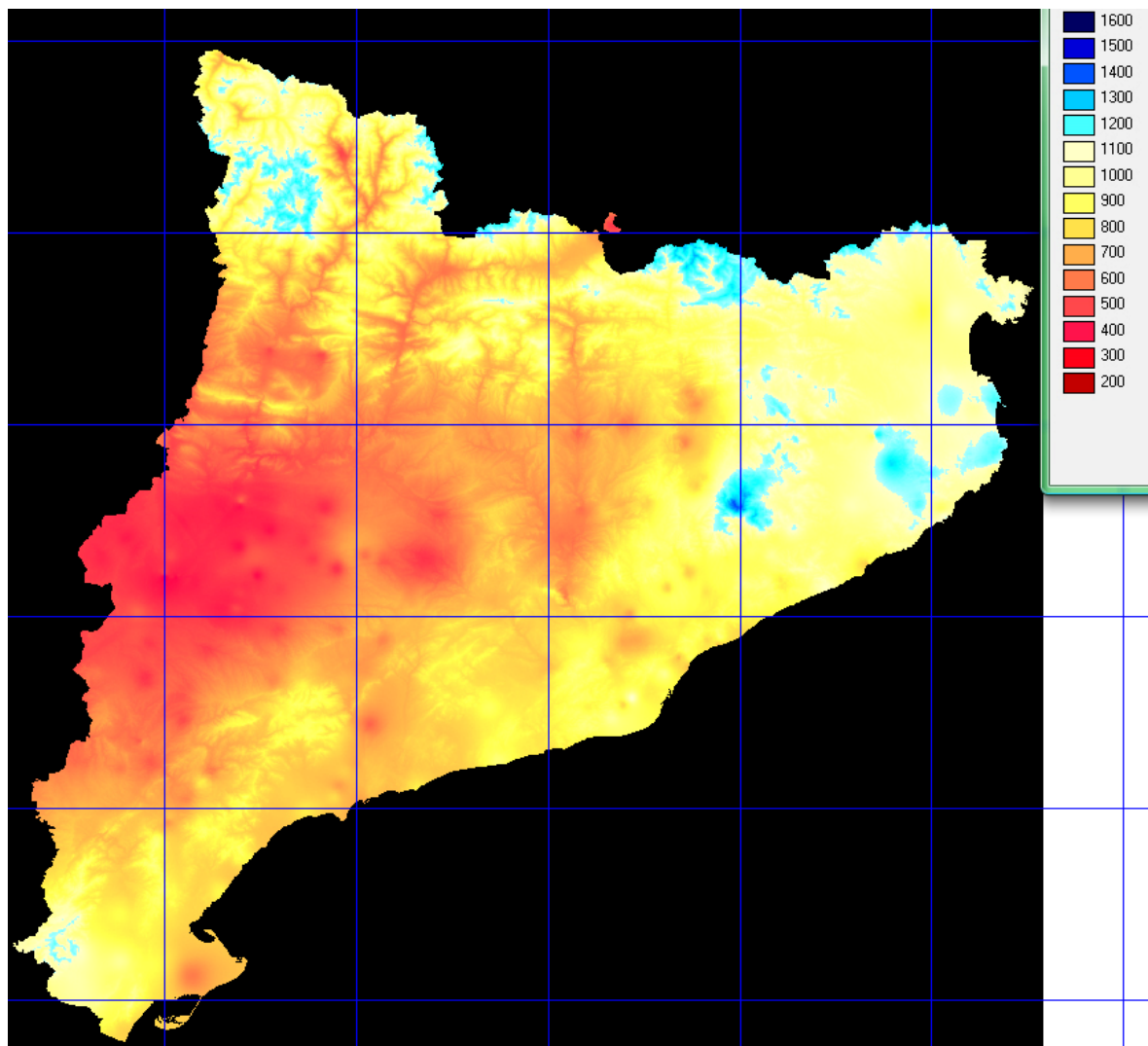
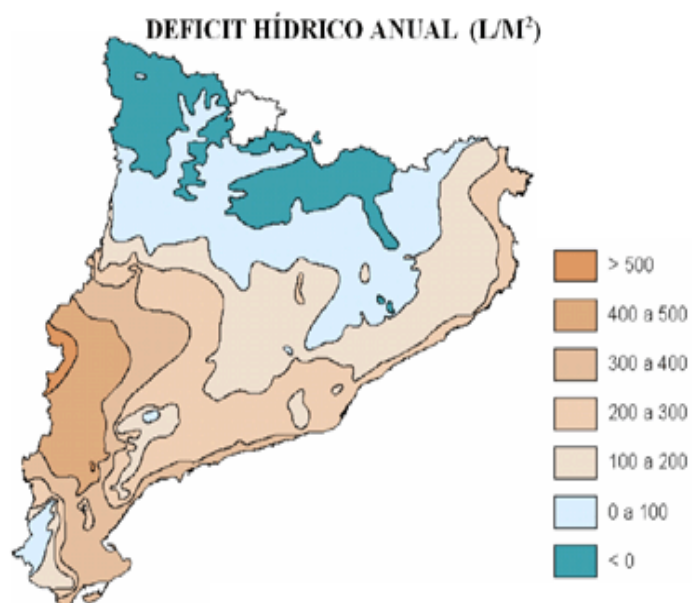


Figura 5. Mapa de Pluviosidad de Octubre en Catalunya. Cantidades en décimas de mm. (Atlas Climàtic Digital de Catalunya, UAB 2001)

La aplicación y correcto dimensionado de sistemas de recogida de aguas pluviales para riego de jardines urbanos permite almacenar durante los meses de más lluvias recursos suficientes para el resto del año. Si el espacio lo permite, al sobredimensionar los depósitos se pueden recoger grandes volúmenes de agua en días de lluvias torrenciales. Volveremos a este tema en los siguientes capítulos, dedicados en concreto a los sistemas de almacenamiento de pluviales existentes y a su aplicación concreta en un jardín urbano del Eixample de Barcelona.

Antes se ha mencionado el concepto *déficit hídrico*. Podemos comprobar si analizamos el mapa de la figura 6 que, excepto en zonas montañosas (Pirineos y pre-Pirineo), el resto de Catalunya sufre la falta



agua en alguna época del año, debido a lo cual se activan políticas de ahorro, restricciones y diversas prohibiciones, como las aplicadas en Barcelona y su zona metropolitana en 2008.

Figura 6.
Mapa de Déficit Hídrico Anual en Catalunya (l/m2.)

3.4 EFECTOS EN GRANDES CONCENTRACIONES URBANAS

Dado que el presente trabajo tiene como principal objeto el estudio y aplicación de sistemas de recogida y aprovechamiento de aguas pluviales en jardines urbanos, es conveniente resaltar una serie de circunstancias que hacen de las ciudades un entorno particular en cuanto a recursos hídricos se refiere.

Según datos de la ONU, el grado de concentración humana en ciudades de más de 10.000 hab. era del 1% en 1800, del 20% en 1960 y se prevé que alcance el 65% en 2025. El impacto producido por estas grandes concentraciones urbanas en el ciclo hídrico es muy significativo, provocando una fractura en el natural del agua al aumentar considerablemente los volúmenes de escorrentía y las velocidades de flujo del agua de lluvia, lo que reduce el tiempo de concentración (es necesario un cierto margen de tiempo para que el terreno filtre el agua) y provoca un aumento de temperatura en los cauces naturales (por déficit de aportación pluvial), además de una mayor oscilación de los caudales entre época seca y época lluviosa, lo que implica un aumento de las inundaciones. Los grandes volúmenes de escorrentía urbana provocan un aumento de los niveles de contaminación debido al incremento de frecuencia, intensidad y

toxicidad de las descargas de los sistemas de saneamiento convencionales en época de lluvias.

Cuando llueve en una zona urbanizada, la superficie impermeable (pavimentos diversos, asfalto) reconduce el agua hacia las alcantarillas. La proliferación de zonas impermeables reduce considerablemente el terreno susceptible de acumular agua para cubrir las necesidades de las especies vegetales existentes y filtrarla a los acuíferos. Esto crea la necesidad de establecer en los meses más secos (en muchas zonas, todo el año) un programa de riegos a modo de suplemento para mantener en condiciones aceptables los jardines y árboles de las ciudades, además de afectar en calidad y cantidad a los acuíferos al decrecer el aporte pluvial. Es en este punto donde la aplicación de sistemas de recogida y aprovechamiento del agua de lluvia para riego de jardines urbanos puede suponer un aporte fundamental, ya que el agua recogida, además de aprovecharse para el riego, no se vierte a la red de alcantarillado, con lo cual no contribuye a saturarla. La única solución para paliar los problemas causados por los grandes volúmenes de escorrentía en las ciudades es, en la medida de lo posible, retener y almacenar el agua en origen (es decir, lo más cerca posible de donde ha caído), para su uso posterior.

3.3.1 EL CASO DE BARCELONA

La ciudad de Barcelona, al igual que Madrid y otras ciudades, se ha ido dotando los últimos años de una red de depósitos de aguas pluviales de gran capacidad que están preparados para recoger miles de m³ en episodios de lluvias torrenciales. El agua recogida en esos depósitos no se utiliza generalmente para riego de jardines, pues proviene de escorrentía urbana y arrastra gran cantidad de desechos. Una vez filtrada, se utiliza para limpiar la red de alcantarillado mediante descargas controladas, ya que estos depósitos están conectados a ella. En el caso de Barcelona, el hecho de que esa ingente cantidad de agua (junto con los residuos que transporta) no llegue directamente a la red de alcantarillado y al mar evita que reciban grandes volúmenes de residuos sólidos (que son recogidos mediante diversos procesos de filtrado y de precipitación) y palia en cierta medida los problemas que estas bruscas descargas de agua causan en la fachada litoral de la ciudad. Estos depósitos de gran



capacidad están situados en diversos puntos: Zona Universitaria, El Fórum, L'Escola Industrial, El Parc de l'Escorxador...(fig. 7).

La capacidad de estos depósitos oscila entre los 1.000 y los 145.000 m³, sumando un total de 500.000 m³ aprox. en toda la ciudad. Parte de esa capacidad está destinada a la limpieza de los propios depósitos.

Figura 7. Depósitos de Zona Universitaria.

Fuente: CLABSA.

Como mencionábamos anteriormente, las aguas pluviales que se almacenan no son utilizadas en el riego de jardines o limpieza de calles por su poca salubridad. En una parte importante de los jardines urbanos que existen en la ciudad se utilizan aguas de origen freático para el riego de las especies vegetales. Las zonas verdes cercanas a puntos de toma de agua del nivel freático o afloramientos por cercanía a la superficie no presentan ningún inconveniente en cuanto a riego y mantenimiento. Otros muchos jardines dependen de camiones cuba que transportan periódicamente aguas freáticas, a los que los operarios de Parcs i Jardins conectan las mangueras para regar las zonas correspondientes. Y existen decenas de pequeñas zonas verdes situados en interiores de manzana y lugares diversos en los que todavía se utiliza agua potable de red. Es aquí donde cobra sentido la propuesta que llevamos a cabo con este proyecto. Lo veremos con detalle en el capítulo 05.

La cuestión de las aguas freáticas tiene cierta complejidad en Barcelona. Como explica Enric Vázquez-Sunyé en su Tesis Doctoral "Urban Groundwater. Barcelona City Case Study" (UPC, 2003), en los años precedentes al estudio se han tenido que bombear y extraer unos 40 hm³ anuales de los acuíferos en la ciudad para mantener el nivel freático en los niveles de las últimas décadas y minimizar los crecientes problemas de filtraciones en túneles de metro y ferrocarril, sótanos, parkings, conducciones y demás infraestructuras

subterráneas. Al haberse dejado de utilizar masivamente el agua proveniente del subsuelo para usos industriales (ahora se utiliza masivamente el agua potable de red) se ha favorecido el ascenso del nivel freático, lo que obliga al Ayuntamiento a hacer costosas extracciones. A todo esto hay que añadir las filtraciones de agua de mar, que “contaminan” de agua salada el manto freático en las zonas próximas al mar e inutilizan esas aguas para su uso en riego de jardines. El gráfico de la figura 8 muestra la situación de los acuíferos de la ciudad, condicionados por la influencia que ejercen el mar y el río Besós.

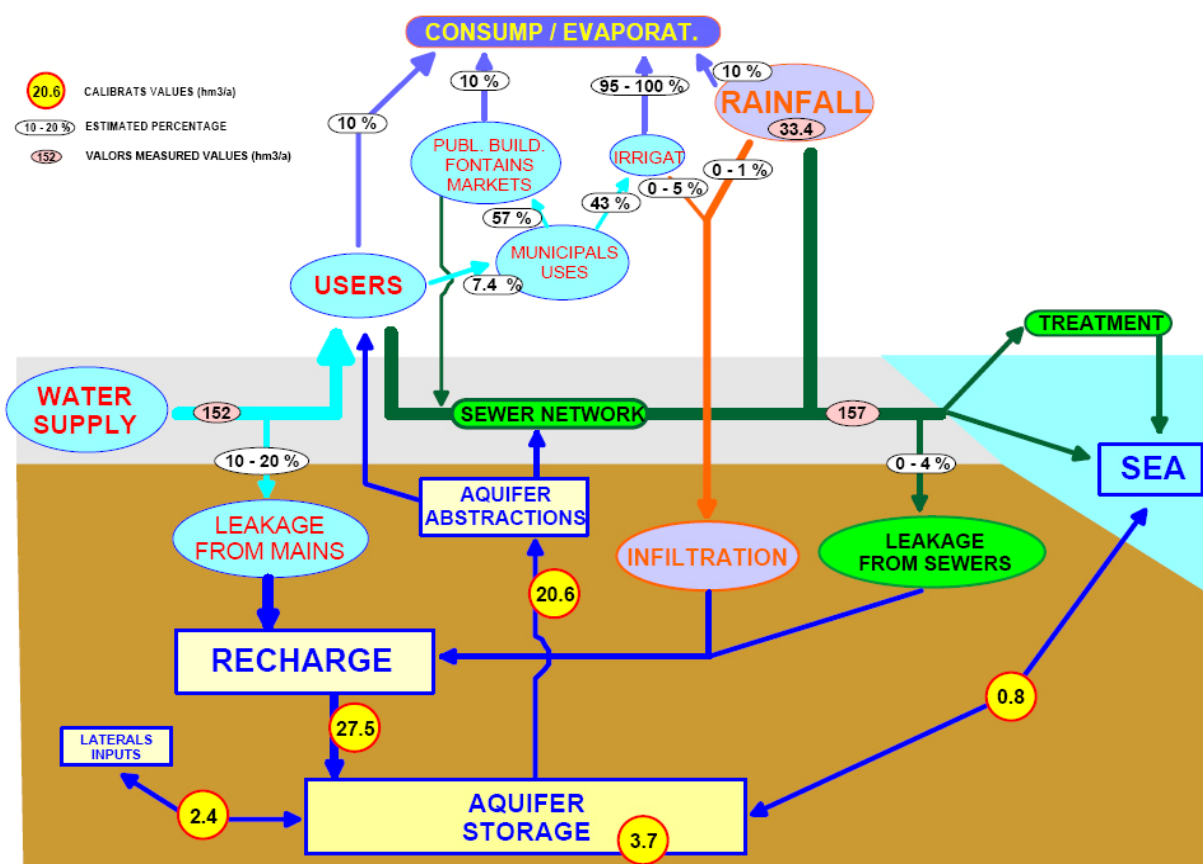


Figura 8. Cuantificación de los factores implicados en el equilibrio de las aguas freáticas en Barcelona (Enric Vázquez- Suñé, “Urban Groundwater, Barcelona City Case Study”, Tesis Doctoral ETSCCP-UPC,2003)

El riego de jardines con aguas freáticas es una solución válida (no siempre la mejor), pero en todo caso sólo aplicable con garantías en dos tipos de emplazamientos:

1. lugares donde la cercanía del manto freático a la superficie permite la fácil extracción del agua mediante medios poco costosos (ya que el agua de red es todavía relativamente barata y sale a cuenta utilizar agua potable de la red pública en lugar de acometer una gran obra para bombear agua desde las capas freáticas)
2. grandes ciudades, donde las infraestructuras urbanas se topan con el nivel freático (túneles del metro y, túneles subterráneos de carreteras, sótanos, parkings, conducciones, cimentaciones de edificios etc.) y se hace necesario controlar el nivel de las aguas subterráneas bombeando grandes volúmenes de agua, susceptible de ser reutilizada en otros usos.

En muchos casos, esa agua no es óptima para el riego, pues contiene altas concentraciones de nitratos, está contaminada por filtraciones del sistema de alcantarillado o tiene una elevada salinidad por proximidad del mar. Debido a eso, en muchas ocasiones es necesario seleccionar las especies vegetales que han de formar parte de los jardines a regar con estas aguas en función de su resistencia y no de su procedencia, pues no todas soportan altas EC (electro-conductividad, índice que expresa el nivel de sales minerales disueltas en el agua). Es precisamente en las ciudades donde la calidad del agua de los acuíferos es susceptible de tener una menor calidad, ya que, como ya hemos visto anteriormente en este capítulo, la urbanización del terreno influye muy significativamente en el ciclo del agua.

Todos estos factores son los que nos llevan a plantear la instalación de depósitos de almacenamiento de aguas pluviales, alimentados por las cubiertas de los edificios circundantes, para riego en ciertos jardines que todavía usan agua de red. En el siguiente capítulo analizaremos los diferentes sistemas de almacenaje y aprovechamiento existentes en el mercado en la actualidad, para pasar posteriormente a estudiar la aplicación en un lugar concreto: los Jardines de César Martinell, en el interior de manzana situado entre las calles Diputació, Villarroel, Gran Vía y Casanova, en Barcelona.

04. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES

4.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, tras definir una serie de conceptos necesarios, haremos un recorrido por los sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales existentes y disponibles actualmente en el mercado. Hablaremos de diversas aplicaciones, materiales, tamaños y posibilidades de instalación.

No es un tema nuevo ni desconocido. Aunque en España los sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales se hayan hecho poco a poco más conocidos en los últimos años, en otros lugares de Europa, como Alemania, Francia o los países escandinavos, hace décadas que las instituciones gubernamentales están concienciadas y conceden subvenciones a los ciudadanos que quieren instalar un depósito en su vivienda, además de establecer normativas estrictas en cuanto a sostenibilidad en edificios de nueva construcción. En Alemania, tras la reunificación en 1989, se rehabilitaron miles de edificios y se emprendieron muchos proyectos de instalación de sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales en viviendas, siendo probablemente el líder mundial en esta materia en la actualidad. Hay miles de ejemplos en todo el país, tanto en edificios públicos como de viviendas. La UFA Fabric, en Berlín, aprovecha en las cisternas de los inodoros más de 2000 m³ de agua de lluvia al año, recogidos en sus cubiertas y patios exteriores y almacenados en un depósito situado en el sótano del edificio. El Olympiastadion, en la misma ciudad, dispone de un depósito de casi 1400 m³ que recoge el agua de lluvia de cubiertas y del terreno de juego para su posterior reutilización en riego de césped y limpiezas diversas. Es uno de los depósitos de reutilización de pluviales más grandes de Europa. A lo largo de todo el país, miles de jardines públicos y privados se riegan con aguas pluviales acumuladas en depósitos.

Las razones del fomento y proliferación de estos sistemas en zonas geográficas con aparentemente pocas urgencias hidrológicas tienen que ver con diversos factores: por una parte, son potencias económicas que disfrutan del mayor nivel de industrialización del mundo. Además, tienen larga tradición en la aplicación de criterios de sostenibilidad en arquitectura y una conciencia ecológica y cívica muy desarrollada. También cabe mencionar que el precio del agua potable en esos países multiplica por dos o por tres el precio promedio en España. Como ejemplo, el coste de 1 m³ de agua potable para un ciudadano danés es unas tres veces superior al que paga un residente en la provincia de Barcelona (4'50 y 1'50 €/m³ aproximadamente), lo

que en términos estrictamente económicos se traduce en una considerable reducción del período de amortización del sistema de recogida de pluviales instalado. Las previsiones de los organismos oficiales para los consumidores españoles apuntan a una subida progresiva del precio del agua de red, que en pocos años se equiparará al que pagan por este recurso nuestros vecinos europeos del norte. No es demasiado arriesgado predecir que esta subida incrementará el interés por el aprovechamiento de aguas pluviales.

En España, la normativa vigente (el Código Técnico de la Edificación), de reciente aplicación, prevé la instalación de depósitos de almacenamiento de pluviales en edificios públicos, lo que de alguna manera nos acerca tímidamente a algunos de los países ya mencionados. En lo que se refiere a gobiernos autonómicos, las iniciativas son numerosas, y se adecuan a la nueva legislación. Desde 2008, la nueva Normativa del Hábitat de Galicia obliga a todos los edificios de nueva construcción a disponer de un depósito para pluviales y a reutilizar las aguas grises. En Catalunya, hace años que este tipo de medidas se contemplan en las ordenanzas de decenas de municipios y pueblos. En el País Vasco, el EVE (Ente Vasco de la Energía) cuenta con un plan de ayudas económicas a Proyectos de Aprovechamiento de Energías y Recursos Renovables. Los beneficiarios de estas subvenciones gestionadas directamente por el Gobierno Vasco pueden ser comunidades de vecinos o particulares (personas físicas o jurídicas), lo que resulta fundamental para promover la instalación privada de estos equipos.

La Generalitat dispone desde 2008 de un fondo de subvenciones a ayuntamientos para proyectos relacionados con el uso de aguas pluviales. Así pues, son los gobiernos municipales los encargados de repartir esas subvenciones, que están destinadas a comunidades de vecinos y empresas. En lo que se refiere a la ciudad de Barcelona, a mediados de abril de 2008 el pleno del Ayuntamiento de la ciudad aprobó por unanimidad una proposición para la instalación “progresiva” (*sic*) de depósitos de aguas pluviales en los edificios de titularidad municipal, tanto en los de nueva construcción como en los ya existentes. El texto aprobado también contemplaba la instalación de estos depósitos en el parque público de viviendas, y para promover estas actuaciones se establecía una línea de ayudas a comunidades de propietarios.

4.2 CONCEPTOS GENERALES

Antes de entrar en el análisis de los sistemas de recuperación de aguas pluviales existentes en el mercado, es necesario establecer ciertos parámetros en cuanto a datos de consumo de agua en diferentes ámbitos. Es preciso recordar que, aunque estudiaremos la recogida y almacenamiento de aguas pluviales para usos variados tanto en el interior como en el exterior de edificios (públicos o de viviendas), el objetivo del proyecto es la recogida de aguas pluviales para riego de jardines urbanos. Centraremos el siguiente capítulo en este tema, analizando un caso concreto de aplicación en un jardín existente de la ciudad de Barcelona.

4.2.1 MODELOS URBANÍSTICOS Y CONSUMO DE AGUA

En los últimos 20 años (especialmente en los más recientes, debido al auge inmobiliario) en muchas zonas de España se ha adoptado insistentemente un modelo residencial basado en viviendas unifamiliares, poseedoras de un pequeño jardín o parcela, al estilo de las zonas suburbanas propias de países anglosajones como E.E.U.U., Canadá o Australia. Este fenómeno, que se repite en otros países desarrollados, fomenta un tipo de urbanismo disperso, poco denso y, en muchas ocasiones, depredador del entorno. El suelo urbanizado en España creció un 40% en el período 1987-2005, y de 1998 a 2006 se construyeron más de 5'5 millones de viviendas. Un porcentaje sustancial corresponde al modelo residencial disperso del que hablamos, posiblemente como respuesta a la alta densidad alcanzada en muchas ciudades y zonas metropolitanas en el boom económico de los 60 y 70. Resulta evidente que estos nuevos modelos urbanísticos han influido decisivamente en el aumento del consumo de agua potable: jardines, urbanizaciones, piscinas...El gasto de agua por habitante es inversamente proporcional a la densidad de población. Mientras que en las ciudades el consumo de agua potable por persona y día se ha mantenido estable los últimos años (incluso ha descendido en ciudades especialmente concienciadas y afectadas, como es el caso de Barcelona), en poblaciones que han visto crecer su suelo urbanizado según criterios residenciales poco densos (p.ej. en la provincia de Barcelona: Sitges, Castelldefels, Sant Cugat...) el consumo diario por habitante se ha incrementado considerablemente, hasta el punto de multiplicar por cuatro o por cinco los valores establecidos en los núcleos urbanos vecinos con mayor densidad de población, sometidos a las mismas condiciones climáticas.

En el gráfico de la figura 1 se puede apreciar la relación entre consumo de agua potable y densidad de población comparando algunos municipios y ciudades de la provincia de Barcelona. Todos los municipios que consumen más de 250 l por habitante y día tienen un amplio porcentaje de territorio que corresponde a zonas residenciales, con mucha superficie de jardines y un número considerable de piscinas privadas.

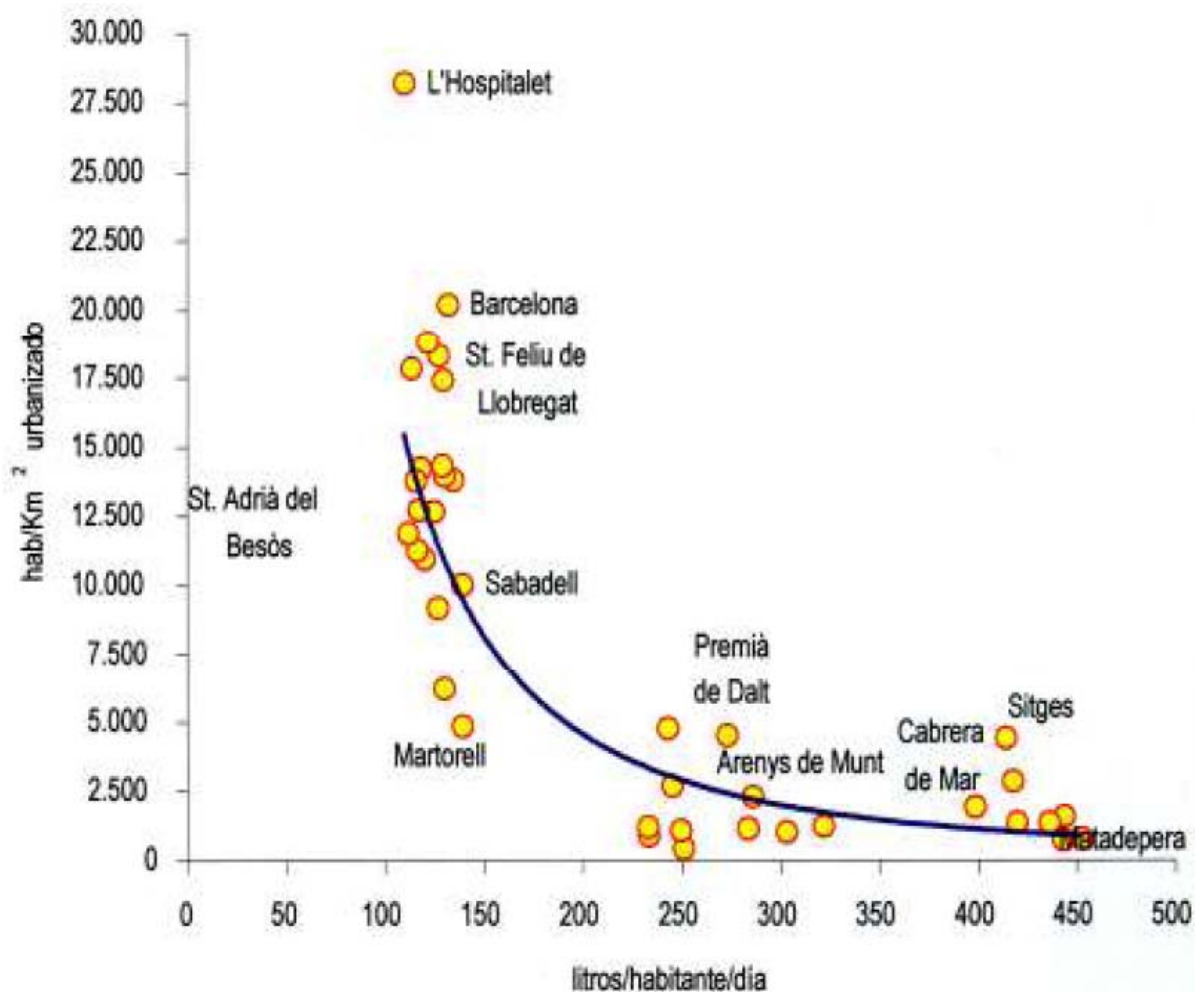


Figura 1. Relación entre densidad de población y consumo de agua potable. (Fuente: Saurí, Cantó 2008 / Tello 2001)

Si analizamos el tema a escala mundial, vemos grandes diferencias. Mientras que el consumo medio diario de agua por habitante en E.E.U.U. es de unos 450 l, el promedio europeo no supera los 175 l. Hay casos extremos, como Los Ángeles y Phoenix (E.E.U.U.) o Perth (Australia) donde el consumo por habitante y día llega a los 1000 l. En el otro lado de la balanza, las decenas de millones de personas que

viven con menos de 40 l. al día, límite establecido por la OMS como umbral de estrés hídrico para el ser humano.

En España, según el Instituto Nacional de Estadística (INE), en 2004 el consumo medio de agua potable por habitante y día se situaba en 170 l., sensiblemente inferior a la media europea. Mientras algunas ciudades permanecían por encima de la media (p. ej. Santa Cruz de Tenerife), otras muchas presentaban unas medias considerablemente inferiores: Barcelona o Bilbao consumían alrededor de 128 l. por habitante y día, y Palma de Mallorca 126 l., menos que La Coruña u Oviedo (148 l.), ciudades con una pluviometría propia de clima húmedo que en rarísimas ocasiones han sufrido restricciones de agua potable.

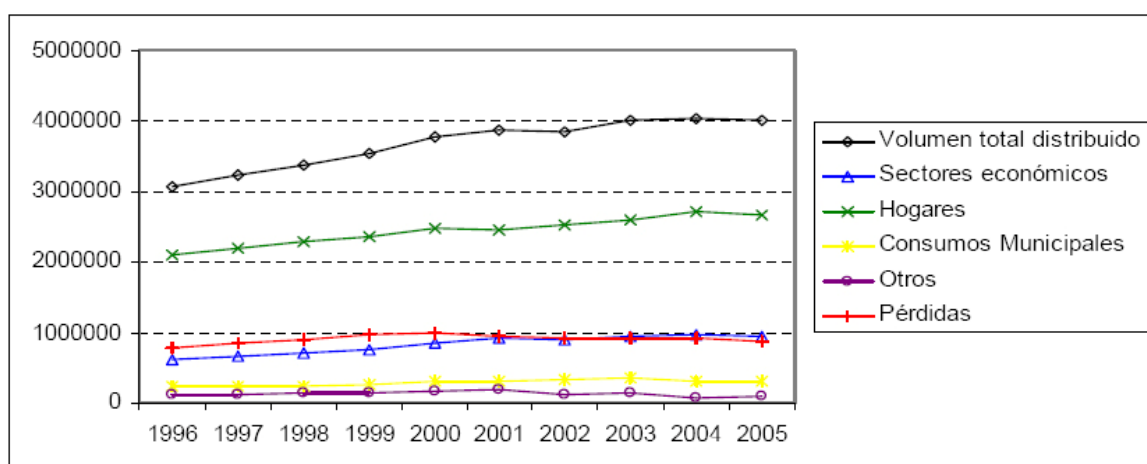


Figura 2. Volumen total y distribución del agua servida a redes pública en España (1996-2005). (Fuente: Saurí y Cantó, 2008; INE 2007)

En la figura 2, el volumen total y la distribución del agua servida a las redes públicas durante el período 1996-2005. En el gráfico se puede apreciar que una cantidad significativa del volumen total de agua potable, estimada en un 18 %, se pierde antes de llegar a los usuarios. Esto es debido principalmente al mal estado de las canalizaciones, muchas de ellas obsoletas, construidas hace muchos años con materiales que se degradan notablemente con el tiempo en determinadas condiciones (p.ej. fibrocemento).

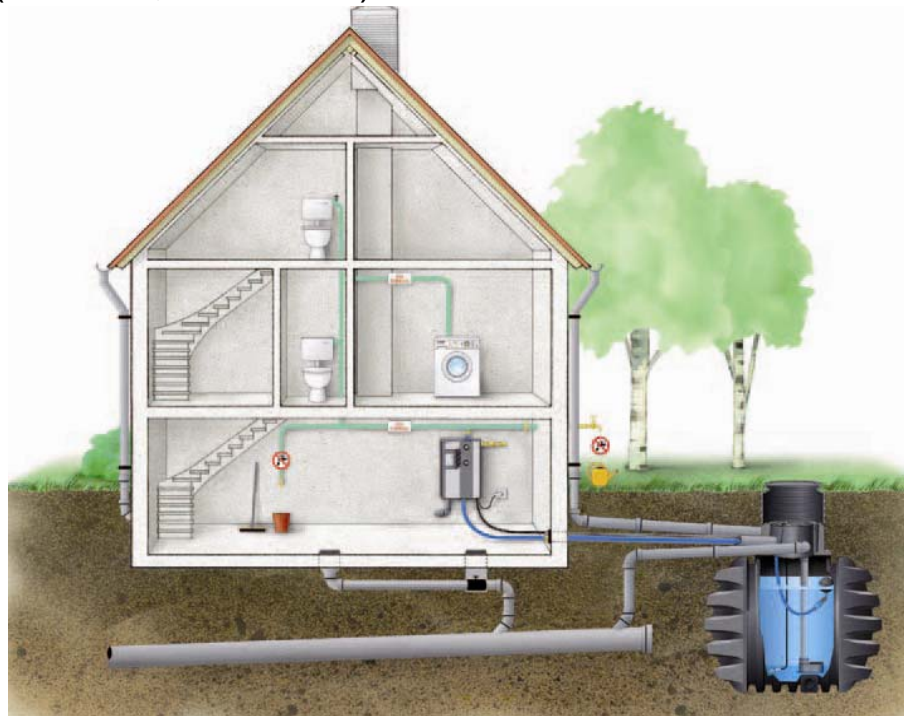
La tendencia en los próximos años apunta a un crecimiento en el consumo individual diario de agua potable, en gran parte debido al modelo urbanístico de baja densidad del que hablábamos con anterioridad. En Catalunya, entre los años 1993 y 2003 el consumo de

agua creció un 1.6% anual, mientras que la población lo hizo un 1%. Las proyecciones demográficas para 2025 indican un crecimiento del consumo de un 27% respecto al actual, lo que no deja de ser un dato alarmante.

4.3 SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO EXISTENTES

Una instalación para aprovechamiento de aguas pluviales consta de una serie de elementos esenciales: una superficie de recogida, un depósito de acumulación (con bomba de presión y rebosadero) y las canalizaciones que conectan la zona de recogida con el depósito y éste con los puntos de consumo. Esta descripción es esquemática, pues la complejidad del sistema varía en función del uso posterior que se le quiera dar al agua de lluvia recogida: si los puntos de consumo están situados en el exterior y el agua se destina a riego, el sistema se parece bastante al descrito anteriormente, mientras que si el agua de lluvia está destinada también a ser consumida en puntos del interior de la vivienda (cisternas, lavadora...) se hará necesaria la instalación

de un filtro adecuado y una unidad de control que conmute a agua de red cuando el depósito no tenga reservas disponibles. El coste se verá incrementado en función de la dimensión y complejidad



de la instalación, de los materiales usados y de las dificultades técnicas que se hayan de solventar en cada caso.

Existen varios factores que pueden alterar la calidad del agua, aunque fundamentalmente son tres los más importantes: la suciedad, la luz (rayos UV) y el exceso de calor. Las soluciones que se aplican

habitualmente pasan por la instalación de filtros adecuados, depósitos contruidos con materiales opacos y, siempre que sea posible, optar por enterrar el depósito, ya que se evita el contacto directo con la luz del sol y el calor.

En la actualidad, existe en el mercado una amplia gama de depósitos, bombas, filtros, unidades de control etc. La oferta abarca prácticamente todo tipo de necesidades en cuanto a usos, medidas, materiales y costes, y la profesionalidad en el sector ha alcanzado un alto nivel.

Básicamente, un sistema de recolección, almacenamiento y aprovechamiento de aguas pluviales eficiente está compuesto por:

- ***Una superficie de recolección de las aguas pluviales.***

Pueden ser cubiertas, terrados...No se recomiendan superficies de patios ni cubiertas ajardinadas o verdes, pues son susceptibles de contener demasiada biomasa que sería arrastrada por el agua de lluvia y colapsaría el filtro o el decantador. Hay que tener en cuenta que determinado materiales están contraindicados ya que desprenden partículas tóxicas o fibras contaminantes, como el amianto (fibrocemento, Uralita). Los techos con tela asfáltica tiñen el agua de amarillo.

- ***Red de conductos***

Consta de dos tramos diferenciados: el que discurre entre la superficie de captación y el depósito, y el que conecta éste con los puntos de consumo (exteriores y/o interiores). La recolección del agua no difiere de la habitual en cubiertas: canalones perimetrales en cubiertas inclinadas, sumideros en cubiertas planas, etc.

Un material especialmente indicado para la red de tuberías es el polietileno, que no resulta dañado debido a la baja dureza del agua de lluvia. Si se utiliza este material en los conductos, hemos de asegurarnos de que únicamente discurren por ellos aguas pluviales, por lo que no es conveniente rellenar el depósito de pluviales con agua de red en época de falta de recursos. Lo correcto sería instalar un mecanismo de control para activar y desactivar el circuito de aguas pluviales, y utilizar materiales convencionales en los conductos susceptibles de transportar los dos tipos de agua (del conmutador o unidad de control, que tiene toma de agua de lluvia del depósito y toma de agua de red, a los puntos de consumo), si no se quiere doblar toda la instalación.

- **Depósito de acumulación**

El agua se almacena en uno o varios depósitos conectados en serie, que habitualmente disponen de un filtro de entrada y/o decantador por gravedad (variará en función del uso que se le quiera dar al agua recogida), una manguera de aspiración con boya (que asegura la máxima calidad del agua al aspirarla a unos 10 cm de la superficie, sin remover posibles residuos que han precipitado y permanecen en el fondo) y un rebosadero conectado a la



red de saneamiento. Estos depósitos han de garantizar un óptimo almacenamiento, impidiendo la entrada de luz (que posibilitaría la proliferación de algas) y de animales.

Figura 3. Colocación en obra de depósitos de hormigón (prefabricados) conectados en serie (Fuente: aiguadepluja.cat)

Figura 4. Depósito de polietileno de doble pared de 10 m³ de capacidad, para colocar enterrado (Trlenz).



Los materiales más habituales son el hormigón (prefabricados o ejecutados *in situ*, fig. 3) y el polietileno (fig. 4 y 6). Se desaconsejan los depósitos de fibra de vidrio, pues puede haber

transferencia del material al agua. Existen depósitos rígidos (la mayoría) y flexibles, tipo bolsa, fabricados en poliéster y PVC (fig. 6 derecha). Dada la posibilidad de conectarlos en serie, la capacidad de estos sistemas es prácticamente ilimitada. En general, los volúmenes habituales (por depósito) oscilan entre 0.5 y 35 m³, aunque es posible encontrar en el mercado hasta de 500 m³. Han de ser registrables para posibilitar su limpieza periódica.



Figura 5. (izq.)

Depósito flexible de poliéster/PVC de 15 m³ (Solumed)



Fig 6. (derecha)

Depósito de polietileno de 8 m³ de capacidad, para colocaren superficie (Zamayser).

• **Accesorios**

Existe una gran variedad de accesorios para completar un sistema eficiente: depósitos de decantación previa, separadores de hojas, boyas de control de nivel de agua, equipos de bombeo, mangueras de aspiración, bocas de entrada de agua anti-turbulencias, filtros para diferentes tamaños de partículas y superficies de captación, marcadores de nivel exteriores... Cuando es necesario, se instala una unidad de control que gestiona los recursos disponibles. A esta unidad llegan las tuberías de los dos tipos de agua que consume la casa, y conmuta de agua



almacenada en el depósito a agua potable de red cuando no hay volumen acumulado suficiente; controla la bomba de impulsión (o la tiene integrada) e incluso selecciona puntos de consumo preferentes en épocas de escasez (por ejemplo, riego de jardín con agua de lluvia y puntos de consumo en el interior de la vivienda servidos con agua de red). Es uno de los componentes que encarecen considerablemente la instalación, pero en muchas ocasiones es indispensable para el correcto funcionamiento del sistema (fig. 9).



Figura 7.
*Manguera flotante de aspiración de agua
dotada de filtro.*
(Fuente: aguadepluja.cat)



Figura 8.
Filtro de biomasa e impurezas. Diferentes medidas según la superficie de cubiertas disponible.



Figura 9. Unidad de gestión de aguas pluviales con bomba de aspiración integrada (Fuente: Ostargi).

4.3.1 USOS

Como apuntábamos anteriormente, el agua de lluvia acumulada es susceptible de ser utilizada en viviendas y en exteriores. En el interior de las viviendas hay diversos puntos donde es posible sustituir el agua potable por agua de lluvia: cisternas de los baños, lavadoras, lavaderos, tomas de agua para limpieza... Los usos exteriores están relacionados con el riego de zonas verdes y limpieza (calles, edificios, lavado de coches...). Mientras que un sencillo filtro o sistema de decantación es suficiente en instalaciones destinadas a riego de jardines, cuando se pretende sustituir parte del gasto de agua potable de la vivienda por agua de lluvia es absolutamente esencial la instalación de un filtro más complejo, con capacidad de retención de partículas de inferior tamaño, que asegure una mínima presencia de residuos minerales y vegetales para garantizar un correcto funcionamiento de los aparatos en los diferentes puntos de consumo. Además, es necesaria una red de conductos que alimenten esos puntos en concreto, manteniendo las tuberías que llevan agua potable de red al resto. Una unidad de control servirá para controlar el nivel interior del depósito de acumulación de pluviales y conmutar a agua

de red cuando el volumen acumulado sea insuficiente. Veamos con detalle ambos supuestos.

4.3.1.1 USOS EXTERIORES

Si lo que se pretende es utilizar el agua para riego de zonas verdes, el sistema a implementar es bastante sencillo (fig. 10).



Figura 10. Instalación de recogida de pluviales para riego de jardín.

El depósito (en este caso, enterrado) recoge las aguas pluviales de la cubierta inclinada, que pasan de los canalones y bajantes al filtro de entrada. El agua entra en el depósito mediante un conducto que dispone de una boca anti-turbulencias que evita que el flujo de líquido entrante remueva el fondo, donde inevitablemente han

ido precipitando las partículas de pequeño tamaño que no ha recogido el filtro. Una bomba de aspiración (en este caso, situada en el exterior) succiona el agua para llevarla a los puntos de consumo.

La potencia de esta bomba varía en función de la longitud de los conductos y de la altura desde la que se bombea. La aspiración del agua del interior del depósito se realiza mediante una manguera flotante (dispone de una boya) que sitúa su boca a unos 10 cm. bajo la superficie, lo que asegura que no se absorberán elementos que floten o hayan precipitado. El depósito dispone de un rebosadero conectado a la red de alcantarillado y es registrable, ya que dispone de una trampilla de entrada que, en su instalación, se recomienda enrasar con la superficie exterior.

Como indicábamos en el capítulo dedicado al agua de lluvia, el uso de este recurso en riego de jardines en lugar de agua potable de red o aguas freáticas comporta diversas ventajas (además de las que tienen que ver con ahorro de recursos limitados y sostenibilidad, las más

evidentes): el pH del agua de lluvia es el más adecuado para que las diferentes especies vegetales puedan obtener correctamente el alimento necesario a través de sus raíces. Un pH inferior (demasiado ácido) o superior (alcalino) produce un bloqueo radicular que provoca desde un crecimiento deficiente a la muerte de la planta. El contenido de sales, cloro o cal del agua de lluvia es nulo, mientras que la EC (electroconductividad, contenido de sales minerales disueltas) del agua potable de red suele ser alta o muy alta. En ciudades como Barcelona, donde el agua es muy dura, la clorosis afecta a un 80% de las plantas, y es claramente visible: las hojas se retuercen y los bordes se ven invadidos por la necrosis; el crecimiento se ralentiza o se detiene. La alta concentración de sales en el agua de riego también provoca estrés radicular, que se ve aliviado cuando la tierra se “lava” con agua de lluvia, que arrastra el exceso de sales. Es fácilmente comprobable la mejoría que experimentan las plantas al ser regadas con agua de lluvia tras una temporada en la que se ha utilizado agua de red: lo vemos cada año en todos los jardines urbanos en primavera, finales de verano y principios de otoño.

4.3.1.2 USOS INTERIORES

Si no se pretende potabilizar el agua de lluvia (factible pero caro), los únicos usos recomendables en el interior de viviendas corresponden a lavadoras, cisternas de inodoros, limpieza del hogar y riego de



plantas, dejando el agua potable de red para higiene personal, alimentación y limpieza de la cocina (fig. 11).

Figura 11.
Instalación de recogida de pluviales para usos interiores y riego de jardín en vivienda unifamiliar.

Se calcula que las descargas de las cisternas de los inodoros suponen del 35 al 40% del gasto de agua potable en un hogar medio. El volumen de agua que se libera en cada uso oscila entre 6 y 10 litros, aunque cada vez es más común la instalación de pulsadores de control de descarga (media/entera) o de corte de flujo. Una lavadora (de clase energética A) utiliza aproximadamente 15 litros en cada lavado.

Una familia de 4 miembros consume diariamente un mínimo de 125 litros de agua potable susceptibles de ser sustituidos por agua de lluvia, almacenada y filtrada convenientemente. Haciendo un sencillo cálculo, comprobamos que, si la familia del ejemplo viviese en Barcelona (675 mm/m² anuales, promedio de 1.84 mm/m² al día, sin tener en cuenta coeficiente de escorrentía), necesitaría una media de 70 m² de superficie de recolección para satisfacer sus necesidades diarias (es evidente que el cálculo es sesgado, pues la media de pluviosidad de cálculo sólo se da algunos meses concretos, mientras que en otros se supera o no se alcanza, pero resulta útil para establecer un valor promedio. Ver *Anexo III, Mapas de Pluviosidad en Catalunya*).

La instalación de un sistema de recogida y aprovechamiento de aguas pluviales no tiene por qué dimensionarse con el propósito de suplir totalmente determinados consumos. Muchas veces no es posible, dada la pluviosidad de la zona geográfica donde se ubica el proyecto. Si se dan episodios periódicos de lluvias torrenciales, como es el caso de la costa mediterránea de la península, sobredimensionar los depósitos de recogida de aguas permite asegurar cuantiosas reservas. En un chubasco torrencial que deje 100 l/m² (como los que se dan una o dos veces al año), una superficie de 1000 m² de rasillas cerámicas, con un coeficiente de escorrentía de 0.85/0.90, puede recoger 90 m³ en pocas horas, lo que aseguraría el consumo diario de una familia como la del ejemplo anterior (4 miembros, 125 l/día de agua potable susceptible de ser sustituida por agua de lluvia) durante 2 años, o de los habitantes de un edificio plurifamiliar con 40 vecinos durante 2 meses y medio. Si lo valoramos teniendo en cuenta el coste del m³ de agua potable de red (utilizaremos la cifra promedio de 1'50 €/m³, conscientes de que es a la baja dada la previsión de subidas hasta igualar los precios europeos, con una media de 3'50 €/m³), nos encontramos con cifras que no son en absoluto espectaculares (135'00 €), aunque sí significativas en cuanto a amortización y ahorro de recursos. Como apuntábamos en los primeros capítulos, los criterios estrictamente económicos no deberían tener un peso demasiado determinante en lo que se refiere a sistemas que fomenten

el uso de recursos naturales, ya que las ventajas no siempre son evaluables en términos monetarios.

4.3.2 APLICACIONES INDIVIDUALES Y COLECTIVAS

En el apartado 4.2.1 de este mismo capítulo hablábamos de cómo había influido la masiva aplicación de un modelo urbanístico de baja densidad en el aumento de consumo de agua potable. Las poblaciones donde proliferan urbanizaciones y zonas residenciales con viviendas unifamiliares con jardín son las que promedian gastos superiores a 250 l. por habitante y día.

Figura 12. Depósito flexible de poliéster/PVC de 4 m³ en vivienda unifamiliar. (Solumed)



Precisamente son estas viviendas unifamiliares con jardín las que cuentan con más facilidades para beneficiarse de la instalación de un sistema de recogida y aprovechamiento de aguas pluviales, ya que reúnen una serie de condiciones especialmente favorables: resulta sencillo dimensionar el depósito y situarlo en el terreno, pues no suele haber demasiados problemas de espacio (suele colocarse enterrado en el jardín, aunque existen

múltiples posibilidades. Fig. 12); no existe la problemática de cuantificar consumos diferenciados, pues el número de usuarios es reducido; la instalación de la red de conductos que han de conducir el agua del depósito a los puntos de consumo es relativamente sencilla,

pues el número es limitado; y es posible, con una mínima instalación exterior, aprovechar las aguas pluviales solamente para riego del jardín y limpieza, lo que produce un ahorro inmediato a los usuarios sin un gasto excesivo.

Se entiende como aplicación individual aquella que sirve a una sola vivienda, sea aislada, adosada o integrada en un edificio plurifamiliar. Las dimensiones no suelen ser excesivas, teniendo en cuenta el número de usuarios. En cambio, cuando el sistema de aprovechamiento de pluviales se destina a aplicaciones colectivas (es decir: edificios plurifamiliares, edificios públicos o de oficinas, urbanizaciones, jardines públicos o comunitarios...) la instalación es más compleja, no sólo debido a sus



mayores dimensiones (fig. 13 y 14).

Figuras 13 y 14.

Instalación de depósito de 100 m³ en Vilafranca (Barcelona). (Fuente: Remosa)

La aplicación de este tipo de sistemas en comunidades de vecinos o urbanizaciones puede comportar una serie de dificultades y costes añadidos, como la instalación de un limitador o un contador por cada usuario para asegurar un reparto equitativo de los recursos. Si, además, el edificio es preexistente y se ha de ejecutar la obra de instalación de conductos en todas las viviendas, tanto los costes como la duración de la obra aumentarán considerablemente.

La propuesta principal de este trabajo es un claro ejemplo de aplicación colectiva de un sistema de almacenamiento y aprovechamiento de aguas pluviales, pues un jardín público es un espacio colectivo, por tanto los beneficiarios son los ciudadanos en general. Son también los ciudadanos los que “ceden” la superficie de

sus cubiertas y sus bajantes, que pasan a formar parte activa del sistema de recogida. Si se seleccionan edificios construidos en los últimos años, con un régimen separativo de evacuación de aguas pluviales y residuales, la obra de conexión es sencilla. Si el edificio no dispone de red separativa de bajantes, se hará indispensable generarla (los conductos existentes permanecen



como bajantes de residuales, y los nuevos conductos de pluviales pueden ir vistos y conectar directamente con el depósito, que a su vez tiene conexión con el alcantarillado mediante el rebosadero).

Existe otro tipo de aplicación colectiva, no mencionada hasta ahora con detalle, que tiene importancia en este proyecto, pues es una de las propuestas a plantear en el siguiente capítulo: la posibilidad de instalar sistemas de aprovechamiento de pluviales para asegurar el riego de los árboles presentes en la inmensa mayoría de las calles de las ciudades. Los depósitos pueden tener la apariencia y el tamaño aproximado de los contenedores de reciclaje (fig. 6 y 15) y se pueden colocar en la calle al lado de éstos. Existen depósitos rotomoldeados de polietileno con unas proporciones razonables para ser colocados en la calle (por ejemplo de 10 m³ de capacidad, 2'75 m de altura y 2'45 m. de diámetro). La cubierta de alguno de los edificios colindantes actúa como superficie colectora, aprovechando los



bajantes de pluviales y conectándolos al depósito a altura de calle. Esto permitiría regar con aguas pluviales los árboles de la ciudad, en lugar de utilizar aguas freáticas de muy inferior calidad. La posición de estos depósitos en las calles facilitaría la colocación de sistemas de riego por goteo, más eficientes y economizadores.

Figura 15. Depósitos de polietileno para colocar en superficie, con capacidades que oscilan entre 1500 y 15000 litros. (Zamayser / aiguadepluja.cat)

4.3.3 INSTALACIÓN, DIMENSIONES Y LIMITACIONES TÉCNICAS

La instalación de estos sistemas en edificios en construcción no presenta grandes problemas. Como hemos mencionado anteriormente, los depósitos pueden ir colocados en superficie o enterrados, y en función de las necesidades y limitaciones se elegirá uno u otro tipo. Si es factible, se suele optar por enterrarlo, ya que mejoran considerablemente las condiciones de almacenamiento del agua al minimizarse la entrada de luz y el calor. Es cierto que enterrar el depósito supone un incremento en los costes totales de la instalación, pero supone un ahorro de espacio y, como decíamos, una disminución de los efectos negativos de los rayos UV y las altas temperaturas. Por lo general, tampoco hay demasiadas dificultades si la instalación ha de hacerse en una casa unifamiliar con jardín, en construcción o ya existente, ya que suele resultar sencillo posicionar el depósito y realizar el trazado de los conductos.

En edificios plurifamiliares existentes sí que pueden presentarse ciertas complicaciones, fundamentalmente debido al limitado espacio disponible para colocar el depósito, a las dificultades para pasar los conductos de agua potable y a la posible necesidad de establecer contadores o limitaciones de consumo por usuario. Las dimensiones de los depósitos indicados para servir a un número elevado de viviendas dificultan enormemente su colocación. Enterrar el depósito cuando el edificio no dispone de zonas exteriores comunes no resulta sencillo: es preciso excavar un foso y ejecutar una losa de hormigón armado de ciertas dimensiones (lo veremos con detalle en este mismo capítulo), lo que muy pocas veces es posible una vez estudiada la cimentación y estructura del edificio preexistente. Si se opta por situar el depósito visto (en zonas comunes, en garajes...), su volumen y la sobrecarga de peso una vez lleno limitan bastante las posibilidades. La dificultad de combinar las instalaciones de conductos de agua de lluvia (necesarias en la instalación de pluviales para su uso en puntos de consumo en el interior de viviendas) con los conductos preexistentes de agua potable de red es otro de los factores que inciden en la tímida implantación de estos sistemas en lo que a edificios plurifamiliares se refiere.

4.3.3.1 DEPÓSITOS ENTERRADOS

Los materiales habituales son hormigón (prefabricados) y polietileno. La instalación de los primeros no comporta complicación alguna: se han de nivelar correctamente, situados sobre una bancada de hormigón en masa o armado. Pueden circular vehículos una vez el depósito ha sido enterrado, pues su estructura exterior lo hace muy resistente.

Dada la mayor complejidad técnica en la instalación, nos centraremos en los depósitos de polietileno.

Cuando se opta por instalar un depósito enterrado, se hace necesario realizar un foso y una losa de hormigón. La profundidad del foso será la suma de la altura del depósito (diámetro, en el caso de ser cilíndrico), el canto de la losa (variará en función de si es armada o de hormigón en masa) el espesor del lecho de hormigón pobre donde se asentará el depósito y la altura de las tierras de relleno hasta la superficie (se aconseja un máximo de 50 cm. en depósitos de polietileno, para evitar posibles daños en la parte superior debido a la presión ejercida y para que la entrada del registro sea funcional y permita un fácil acceso a filtros y demás elementos).

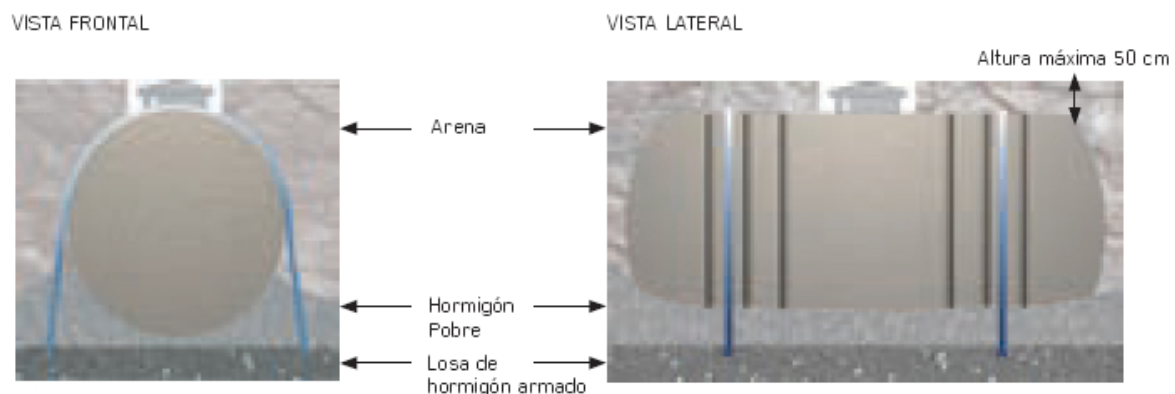


Figura 16. Esquema de depósito enterrado. (Fuente: Remosa)

Si la instalación es en una zona con tráfico rodado, se recomienda colocar sobre la capa de tierras o arenas de relleno una losa de hormigón armado de 25 cm. apoyada sobre un cubeto de obra perimetral, que se ejecutará dejando una distancia de al menos 30 cm con las paredes del depósito. Este cubeto se tendrá que impermeabilizar correctamente para evitar problemas de humedades o de infiltraciones de aguas freáticas.

Si se colocan dos o más depósitos conectados en serie, es necesario prever una distancia mínima de 40 cm. entre ellos, para asegurar el correcto asentamiento permitiendo la entrada del hormigón pobre y las tierras de relleno en los huecos. (fig.17).



Figura 17. Depósitos de polietileno conectados en serie. (Trlenz)

La losa a construir ha de tener (dimensiones y resistencias mínimas) un grosor de 20 cm. si es hormigón en masa o 15 cm. si es armado. En ambos casos, la resistencia ha de ser 175 kg/cm². La superficie ha de rebasar en 30 cm las dimensiones del depósito en todo el perímetro.

Una vez ejecutada la losa de hormigón que actuará como base, es necesario rellenar con hormigón pobre (de resistencia 100 kg/cm²) hasta una altura de 25 cm. sobre la losa, y situar el depósito en su posición definitiva. Antes del vertido de hormigón tierno, se recomienda fijar el tanque con eslingas de sujeción a unos pernos previamente colocados en la losa y bien alineados. Estos puntos de anclaje han de ser distribuidos regularmente a lo largo del depósito.

Una vez colocado en su posición y vertida la primera capa de hormigón pobre, se llena el depósito hasta 1/3 de su capacidad para poder asentarlo y nivelarlo correctamente. A continuación, se vierte el resto de hormigón hasta llegar a 1/3 de la altura del tanque. El material que se utilice para rellenar hasta el nivel de la superficie, arena o

gravilla fina lavada, sin materia orgánica, tendrá que tener una granulometría no inferior a 4 mm. ni superior a 16 mm.

Cuando el depósito está ya situado, hay que construir una arqueta sobre cada uno de los registros, evitando transmitir ningún tipo de cargas a las paredes del tanque, que podría verse dañado.

Las dimensiones que se manejan habitualmente en depósitos enterrados cilíndricos de polietileno (de doble pared con aislamiento) oscilan entre diámetros de 1'15 a 3 m. y longitudes de 2.5 a 12 m. (para volúmenes de 2 a 75 m³) (fig. 18).

VOLUMEN lts.	D mm	L mm	Ø BOCA ACCESO mm	Ø TUBERÍAS mm	PESO APROX. Kg
2.200	1.150	2.720	410 (2)	110	60
3.500	1.600	2.140	410 (2)	110	75
4.500	1.600	2.660	410 (2)	110	110
6.000	1.740	2.930	410 (2)	110	150
8.000	2.110	2.900	410 (2)	110	180
10.000	2.110	3.620	410 (2)	110	225
15.000	2.000	5.290	410 (2)	110	700
20.000	2.350	5.140	410 (2)	110	700
25.000	2.350	6.300	410 (2)	110	900
30.000	2.500	6.650	410 (2)	110	1.400
40.000	2.500	8.700	410 (2)	110	1.700
50.000	3.000	8.040	410 (2)	110	1.900
75.000	3.000	11.600	410 (2)	110	2.700

Figura 18. Tabla de volúmenes, dimensiones, diámetros de tuberías, diámetros de registros y peso. Depósitos de polietileno cilíndricos horizontales enterrados. (Fuente: Remosa)

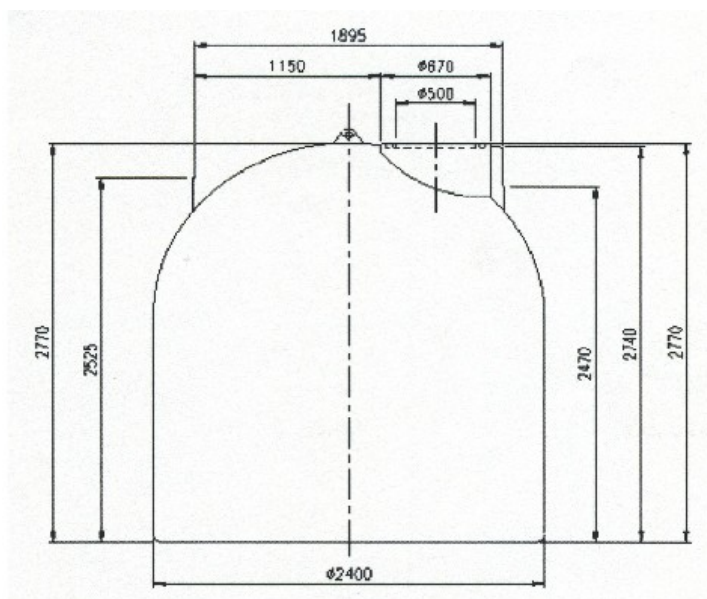
4.3.3.2 DEPÓSITOS DE SUPERFICIE

Son depósitos especialmente indicados para ser colocados a la vista, en calles, jardines, patios, garajes o sótanos. Pueden ser de polietileno, de hormigón (menos habituales) o flexibles, fabricados en poliéster y PVC. El aspecto exterior está más cuidado, y disponen de un aislamiento acorde con las condiciones climáticas que han de soportar: doble pared con aislamiento térmico y materiales opacos (anti-UV).

La instalación de estos depósitos comporta menos dificultades que los enterrados, ya que no es necesario excavar foso ni cubeto perimetral. Sí que es necesario construir una losa de hormigón armado a modo de bancada, de similares características a la recomendada en depósitos enterrados en cuanto a dimensionado de superficie, aunque con un grosor de 20 cm. armada con mallazo. Es conveniente anclarla al pavimento circundante mediante elementos apropiados. Las placas de anclaje del depósito han de fijarse correctamente a la bancada, para evitar movimientos que pueden ser peligrosos cuando contenga agua. Las dimensiones de los depósitos de superficie son bastante similares a las de depósitos enterrados, tanto verticales como horizontales.

Capacitat (litres)	Diàmetre	Alçada	Ø Tapa(mm)
1500	1350	1280	400
2000	1350	1666	400
3000	1535	1913	400
3000	1950	1320	400
5000	1950	2000	400
8000	2000	2974	500
10000	2000	3684	500
10000	2450	2753	500
15000	2450	3840	500

Figura 19. Tabla de volúmenes y dimensiones) de depósitos de superficie rotomoldeados de polietileno (Fuente: aiguadepluja.cat)



Entre los depósitos de superficie de polietileno destacan los cilíndricos verticales, muy adecuados para ser colocados en calles (para riego del arbolado viario) o plazas por su similitud con los contenedores de reciclaje.

Figura 20. Dimensiones generales de un depósito de polietileno de 10 m³ para colocar en superficie.

Los depósitos de tipo flexible fabricados en poliéster y PVC (fig.12) merecen ser otra opción. Permiten una rápida instalación (según las características, no es necesario un permiso de obras). Son fácilmente manejables en vacío al tener un peso muy inferior al de cualquier depósito de similar volumen pero de diferente material, y esa característica los hace útiles en lugares donde el peso total de la instalación puede llegar a convertirse en un problema.

VOLUMEN [m ³].	DIMENSIONES [vaciado en m.]	A [m.]	PESO
1	2,45 X 1,48	0,70	9
2	1,80 X 2,96	0,70	14
3	2,50 x 2,96	0,70	20
5	3,35 x 2,96	0,80	30
8	4,80 x 2,96	0,90	40
10	5,50 x 2,96	0,90	45
15	4,80 x 4,44	0,90	60
20	6,10 x 4,44	1,10	75
30	6,25 x 5,92	1,20	100
40	7,60 x 5,92	1,20	115
50	9,25 x 5,92	1,30	140
60	10,25 x 5,92	1,30	150
70	9,00 x 7,40	1,40	170
80	10,25 x 7,40	1,40	195
100	10,40 x 8,88	1,40	230
150	14,80 x 8,88	1,50	320
200	16,40 x 10,36	1,50	405
250	19,95 x 10,36	1,50	435
300	20,80 x 11,84	1,50	575
350	21,20 x 13,32	1,50	680
400	22,15 X 14,80	1,50	770

Figura 21. Tabla de volúmenes, dimensiones y pesos (en vacío) de depósitos flexibles de poliéster y PVC. (Fuente: Solumed)

En cuanto a dimensiones generales, ocupan más superficie pero tienen menos altura, lo que los hace especialmente indicados para ser colocados en plantas técnicas, forjados sanitarios, etc. (fig. 21).

Actualmente, la amplia oferta existente en el mercado español posibilita el llevar a cabo prácticamente cualquier tipo de instalación de aprovechamiento de pluviales sin límite de capacidad, pudiendo optar por diferentes materiales, sistemas de instalación y precios.

4.4 COSTES ECONÓMICOS

En lo que se refiere a los costes económicos de los diferentes sistemas de recogida de pluviales vistos, existen considerables diferencias en función de los materiales utilizados, los accesorios necesarios, la situación del depósito y las dimensiones totales del sistema. Evidentemente, si optamos por situar el depósito en superficie nos ahorraremos costosas obras de excavación y relleno, que en muchas ocasiones constituyen un porcentaje nada despreciable del coste total del proyecto.

Hay ciertos componentes comunes a todo sistema de recuperación de pluviales, independientemente del material de fabricación del depósito o su situación en obra. Son los conductos, filtros, bombas, unidades de gestión de caudal (muy costosas) y demás accesorios (barrera anti-roedores, entrada anti turbulencias, etc.). En el capítulo siguiente se especificarán los costes de la instalación para jardines urbanos.

Cabe mencionar que es posible solicitar alguna de las subvenciones que se conceden desde diferentes entidades públicas (gobiernos de comunidades autónomas y ayuntamientos) en el caso de cualquiera de las instalaciones mencionadas, tanto para aplicaciones individuales como colectivas. En el caso de la propuesta de instalación del sistema de recogida de aguas pluviales en un jardín urbano, tendrían que ser las comunidades de vecinos de los edificios que vayan a utilizar sus cubiertas como superficie de captación las que soliciten la subvención pertinente a las instituciones públicas.

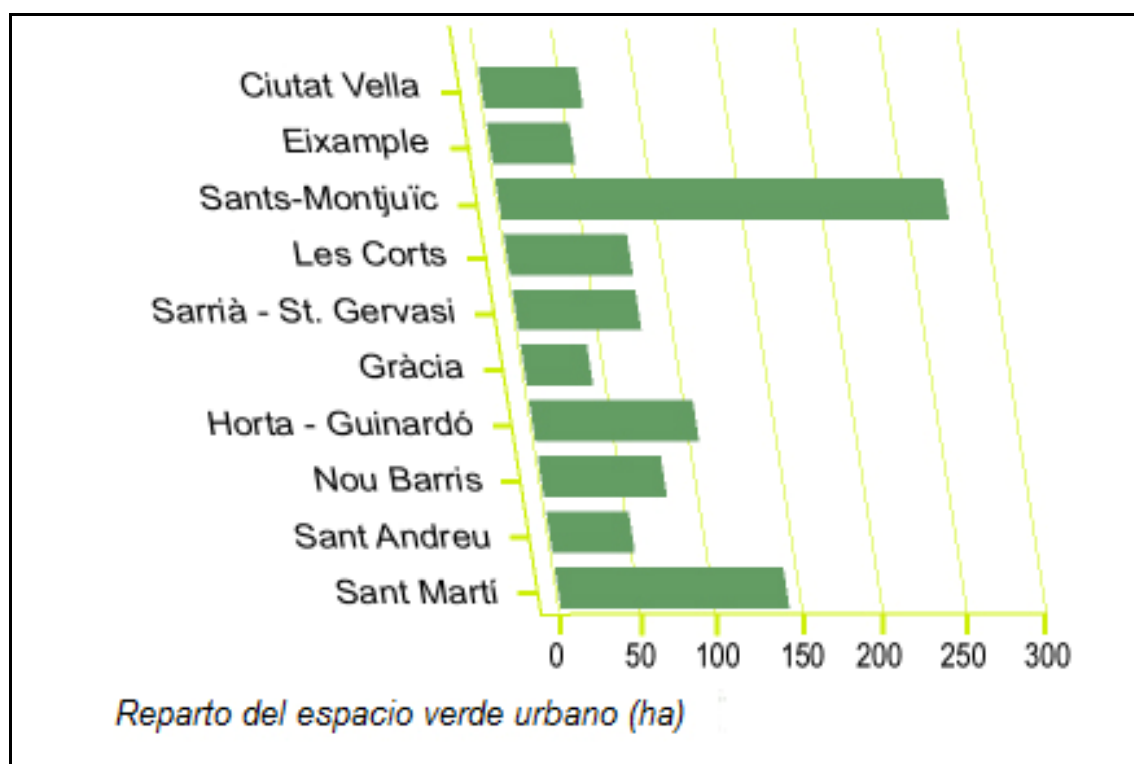
05. APLICACIÓN EN JARDINES URBANOS

5.1 INTRODUCCIÓN

Aunque el estudio se centra en la ciudad de Barcelona, es perfectamente extrapolable a cualquier otro lugar una vez adaptados los datos meteorológicos necesarios para los diversos cálculos (pluviosidad, tipo de clima, etc.).

A pesar de la creciente utilización de aguas freáticas, el riego de zonas verdes y arbolado viario representa el 37'50 % del gasto total de agua potable que se destina a uso público en Barcelona, según datos de Parcs i Jardins.

Las 967 hectáreas de espacio verde urbano (sin contar el Parc de Collserola) se reparten de la siguiente manera:



Además de zonas verdes de dimensiones considerables, como el Parc de La Ciutadella o Montjuich, la ciudad cuenta con un gran número de pequeños jardines en interiores de manzana o en parques, repartidos por toda la superficie urbana. Muchos de ellos se riegan con agua potable de la red pública, cuando cuentan con superficies de captación de aguas pluviales muy próximas (las cubiertas de los edificios circundantes) que vierten ese preciado recurso a la red de alcantarillado. Es en estos jardines donde cobra sentido la instalación

de un sistema de aprovechamiento de pluviales, pues en muchos casos podrían ser prácticamente autosuficientes en cuanto a recursos hídricos, ahorrando grandes cantidades de agua potable y utilizando un agua de mucha más calidad para el riego que la que proviene del manto freático o de la red pública.



Figura 1. Zonas verdes en la ciudad de Barcelona.

5.2 DIMENSIONADO DE UNA INSTALACIÓN

En los cálculos de dimensionado del depósito (si no existen limitaciones espaciales o de otro tipo) se consideran diversos factores como la pluviosidad del lugar, la superficie de zona ajardinada y la disponible para captación o las necesidades hídricas de las especies vegetales existentes.

5.2.1 MÉTODOS DE CÁLCULO

Existen varias formas de realizar el cálculo de dimensionado del tamaño mínimo aconsejable de un depósito de aguas pluviales. Veremos dos de ellas.

a) Método 1

La fórmula utilizada mayoritariamente por las empresas del sector es sencilla, al no tener en cuenta la superficie de captación o la pluviosidad de la zona donde se instalará el depósito, sino exclusivamente la demanda: necesidades hídricas de las especies vegetales, el tiempo de retención del agua en el depósito y los m² de terreno a irrigar. Es importante indicar que este método es apropiado para calcular las *dimensiones mínimas aconsejables* del depósito.

$$\text{Capacidad DRP (m}^3\text{)} = 6 \text{ l/día y m}^2 \times \text{TR (días)} \times \text{m}^2 \text{ terreno}$$

siendo TR el tiempo de retención de aguas pluviales en el depósito. La constante 6 (l/(día x m²)) se ha calculado según los siguientes criterios:

- *Cálculo de la Evapotranspiración Potencial*

Es la suma de la evaporación del agua del suelo y la transpiración del tipo de especie vegetal que se desea regar, medida en mm/día y m² de terreno. La dotación diaria de agua de riego ha de cubrir esta cantidad.

En el cálculo genérico de la ETP (Evapotranspiración Potencial) intervienen el tipo de clima, la temperatura media y la humedad relativa. Se realiza siempre en el supuesto más desfavorable, que en España suele ser el mes de julio.

CLIMA	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO	E.T.P (mm/día)
Fresco / Húmedo	< 20	> 50%	2'5
Fresco / Seco	< 20	< 50%	3'5
Moderado / Húmedo	20 - 30	> 50%	4'5
Moderado / Seco	20 - 30	< 50%	5
Cálido / Húmedo	30 - 38	> 50%	6'3
Cálido / Seco	30 - 38	< 50%	7
Muy cálido / Húmedo	> 38	> 50%	8
Muy Cálido / seco	> 38	< 50%	9

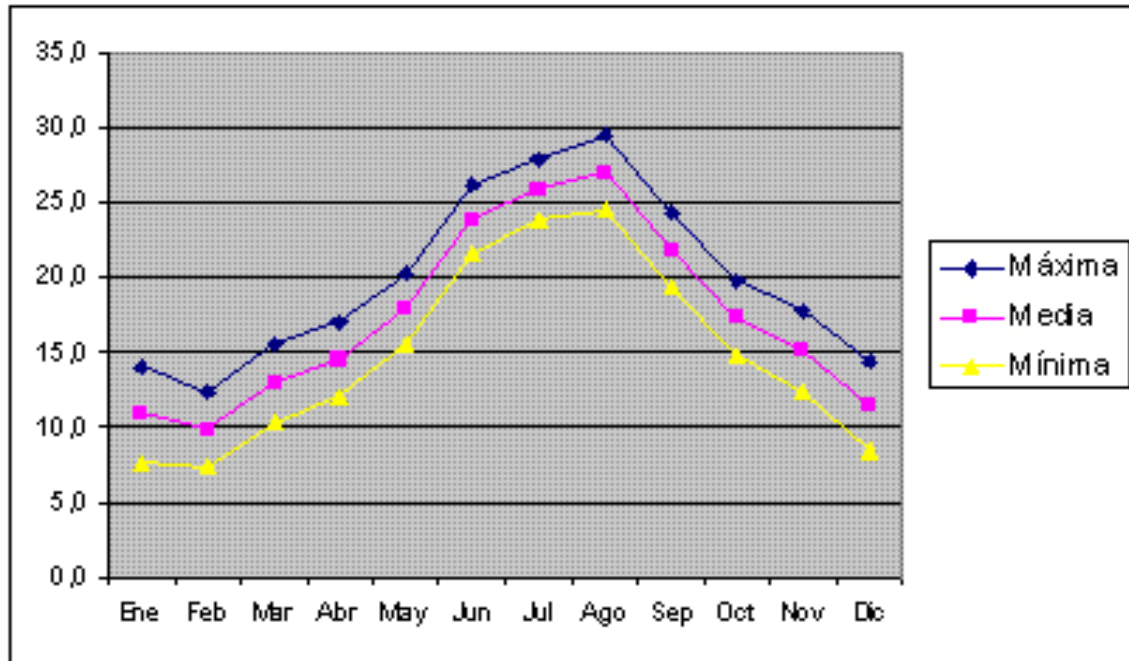


Figura 3. Gráfico de temperaturas en Barcelona.

En un clima como el de Barcelona (moderado/húmedo, con temperaturas promedio en julio de aproximadamente 26 grados y una humedad superior al 50%), la ETP es 5 mm/día y m².

Es necesario incrementar este coeficiente en función del método de riego a utilizar y su eficiencia: si es riego por aspersión, la eficacia oscila entre el 85 y el 90% (porcentaje de agua que no se evapora antes de filtrarse a la tierra). Si es riego por inundación (con manguera), la eficacia máxima oscila entre el 80 y 85 %. Si consideramos una eficacia del 83%, hemos de incrementar un 17% la ETP, lo que nos da una cantidad de 6.02 mm/día y m².

- *Coeficiente de cultivo*

Una vez ha sido calculada la ETP, es necesario aplicar el *Coeficiente de cultivo* (Kc) correspondiente a las especies vegetales que se desean regar. Este coeficiente está referenciado al césped (Kc = 1), considerado *cultivo de referencia* debido a sus elevadas necesidades hídricas.

TIPO DE PLANTA	COEFICIENTE
Planta de zona árida (xerófilas)	0'2 – 0'3
Árboles y arbustos de clima mediterráneo	0'3 – 0'5
Cítricos y frutales	0'6 – 0'7
Arbustos ornamentales	0'7 – 0'8
Bancales de flores	0'8 – 1'0
Césped	1'0

En este primer método de cálculo se considera la opción más desfavorable y se aplica el coeficiente $K_c = 1$. Por tanto:

$$(6'02 \text{ mm/día y m}^2) \times 1 \approx 6 \text{ mm/día y m}^2 = \underline{\underline{6 \text{ l/día y m}^2}}$$

Ejemplo 1.1:

Cálculo del volumen mínimo aconsejable del depósito según las siguientes especificaciones:

- 500 m² de superficie ajardinada situada en Barcelona.
- 250 m² de césped ($K_c = 1$) y 250 m² de superficie arbolada con especies autóctonas mediterráneas ($K_c = 0.5$)
- TR = 30 días

$$((250 \times (6 \times 1) \times 30) + (250 \times (6 \times 0.5) \times 30)) = \mathbf{67.50 \text{ m}^3}$$

Serían las dimensiones mínimas aconsejadas para el depósito.

Ejemplo 1.2:

Cálculo volumen mínimo aconsejable del depósito según las siguientes especificaciones:

- 1000 m² de superficie ajardinada situada en Barcelona.
- 500 m² de césped ($K_c = 1$) y 500 m² de superficie arbolada con especies autóctonas mediterráneas ($K_c = 0.5$)
- TR = 30 días

$$((500 \times (6 \times 1) \times 30) + (500 \times (6 \times 0.5) \times 30)) = \mathbf{135.00 \text{ m}^3}$$

b) Método 2

Este segundo método es ligeramente más complejo, al tener en cuenta el abastecimiento y la demanda, y permite calcular las dimensiones más apropiadas para el depósito. Es, por tanto, un poco más exacto en cuanto a dimensionado, pues proporciona más datos que el anterior.

Abastecimiento:

El cálculo del abastecimiento se realiza según la siguiente fórmula:

$$A_i = (P_{pi} \times C_e \times S_c) / 1000$$

siendo:

A_i = abastecimiento del mes i , en m³

P_{pi} = precipitación promedio del mes i

C_e = coeficiente de escorrentía

S_c = superficie de captación (en proyección horizontal)

El *coeficiente de escorrentía* es una constante que depende del material que forma la cubierta:

Materiales cerámicos = 0.85 – 0.90

Pizarra = 0.70 – 0.95

Gravilla = 0.15 – 0.30

Demanda:

La fórmula de la demanda es la siguiente:

$$D_i = (N_u \times N_{di} \times D) / 1000$$

siendo:

D_i = demanda del mes i , en m³.

Un = nº de usuarios del sistema

Ndi = nº de días del mes i

D = dotación en l/día (por persona, por m² de jardín...)

Para adecuar la fórmula al dimensionado de un depósito para riego de zonas verdes, Un = m² de jardín a regar y D = dotación de l/m² y según las necesidades hídricas de las especies vegetales a irrigar.

Ejemplo 1.2:

Cálculo del abastecimiento, demanda y volumen del depósito necesario (cantidad máxima resultante de la diferencia entre Ai y Di) según las siguientes especificaciones:

- 500 m² de superficie ajardinada situada en Barcelona.
- Dotación de 4.5 l/m² por día (50 % de superficie de césped, 6 l/m² por día, y 50% de superficie arbolada con especies autóctonas, 3 l/m² y día)
- Riego diario
- 1200 m² de superficie de cubiertas de rasilla cerámica ($Ce = 0.85$).

MES	DÍAS	PRECIP. MEDIA (mm/m ²)	ABASTECIMIENTO (m ³)		DEMANDA (m ³)		DIF. (m ³)	
			Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado		
SEPT	30	85,00	108,38	108,38	67,50	67,50	40,88	+
OCT	31	100,00	127,50	235,88	69,75	137,25	98,63	+
NOV	30	55,00	70,13	306,00	67,50	204,75	101,25	MÁX.
DIC	31	50,00	63,75	369,75	69,75	274,50	95,25	+
ENE	31	40,00	51,00	420,75	69,75	344,25	76,50	+
FEB	28	40,00	51,00	471,75	63,00	407,25	64,50	+
MAR	31	50,00	63,75	535,50	69,75	477,00	58,50	+
ABR	30	55,00	70,13	605,63	67,50	544,50	61,13	+
MAY	31	55,00	70,13	675,75	69,75	614,25	61,50	+
JUN	30	40,00	51,00	726,75	67,50	681,75	45,00	+
JUL	31	30,00	38,25	765,00	69,75	751,50	13,50	+
AGO	30	50,00	63,75	828,75	67,50	819,00	9,75	+

La cantidad máxima acumulada es de 101.25 m³. El depósito que se elegiría sería el existente en el mercado que más se aproxima a ese volumen, que es de 100 m³.

Ejemplo 2.2:

Cálculo del abastecimiento, demanda y volumen del depósito necesario (cantidad máxima resultante de la diferencia entre A_i y D_i) según las siguientes especificaciones:

- 1000 m² de superficie ajardinada situada en Barcelona.
- Dotación de 4.5 l/m² por día (50 % de superficie de césped, 6 l/m² por día, y 50% de superficie arbolada con especies autóctonas, 3 l/m² y día)
- 2000 m² de superficie de cubiertas de rasilla cerámica ($C_e = 0.85$).

MES	DÍAS	PRECIP. MEDIA (mm/m ²)	ABASTECIMIENTO (m ³)		DEMANDA (m ³)		DIF. (m ³)	
			Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado		
SEPT	30	85,00	144,50	144,50	135,00	135,00	9,50	+
OCT	31	100,00	170,00	314,50	139,50	274,50	40,00	MÁX
NOV	30	55,00	93,50	408,00	135,00	409,50	-1,05	-
DIC	31	50,00	85,00	493,00	139,50	549,00	-56,00	-
ENE	31	40,00	68,00	561,00	139,50	688,50	-127,50	-
FEB	28	40,00	68,00	629,00	126,00	814,50	-185,50	-
MAR	31	50,00	85,00	714,00	139,50	954,00	-240,00	-
ABR	30	55,00	93,50	807,00	135,00	1089,00	-281,50	-
MAY	31	55,00	93,50	901,00	139,50	1228,50	-327,50	-
JUN	30	40,00	68,00	969,00	135,00	1363,50	-394,50	-
JUL	31	30,00	51,00	1020,00	139,50	1503,00	-483,00	-
AGO	30	50,00	85,00	1105,00	135,00	1638,00	-533,00	-

La cantidad máxima acumulada es de 40 m³. Se elegiría un depósito de ese volumen.

Vemos que, con estos mismos datos, según los cálculos realizados mediante el método 1 el depósito mínimo aconsejado es de 135 m³.

Esta disparidad de conclusiones se debe a que, como ya hemos apuntado anteriormente, el primer método solamente tiene en cuenta la superficie a regar y la dotación necesaria según las especies vegetales existentes, mientras que el segundo se ve limitado por el volumen susceptible de ser recogido por la superficie de captación disponible.

5.3 UN JARDÍN EN EL EIXAMPLE



Procederemos a estudiar el dimensionado e instalación de un sistema de recogida de aguas pluviales en los Jardines de César Martinell, localizados en un interior de manzana de l'Eixample de Barcelona, situado entre las calles Casanova, Gran Vía, Villarroel y Diputació.

El emplazamiento ha sido escogido por diversas razones: es un jardín público rodeado de edificios, varios de ellos con una instalación separativa de pluviales cuyos conductos bajan por las fachadas que dan al jardín interior, y son por tanto aprovechables para la instalación; tiene una superficie reducida de zona ajardinada, lo que posibilita cubrir una parte importante de sus necesidades hídricas con la superficie de cubiertas disponible; en la actualidad, se riega con agua potable de red y, finalmente, es posible colocar el depósito de recogida en superficie sin que suponga molestias para los usuarios, lo que reduce la duración y el coste final de la obra.



5.3.1 DATOS PREVIOS

El interior de manzana tiene una superficie de 2100 m². De esta superficie total, aproximadamente 800 m² están destinados a zonas verdes (césped, arbolado, arbustos bajos) y a un parque infantil. El resto está pavimentado con adoquines y hormigón. Aunque el césped existente se encuentra en muy malas condiciones, el arbolado y las zonas de arbustos mantienen un buen aspecto, debido a las especies seleccionadas.

La superficie que ocupan los parterres de césped es de 280 m² y los arbustos bajos, colocados perimetralmente, aproximadamente 90 m². El arbolado se concentra en la zona ajardinada (unos 30 ejemplares de diferentes tamaños)

Se aprovechará la superficie de captación de varios edificios, tanto de la C/ Casanova como de C/ Villarroel, puesto que disponen de bajantes de pluviales por fachada, lo que permite utilizarlos para recargar el depósito. Se dispone de una superficie total de aprox. 1000 m², compuesta por cubiertas planas transitables y cubiertas inclinadas. Ambas tienen como acabado exterior material cerámico

(rasillas y tejas respectivamente), con coeficiente de escorrentía = 0.87. Los bajantes de pluviales de los tres primeros edificios de C/Casanova correspondientes a la superficie que desagua por pendientes hacia

el jardín interior, bajan vistos por fachada y desaguan en los patios de las viviendas de planta 1ª.

Estos, que suman un total de aprox. 400 m²., están situados a 2'80 m. de altura sobre la superficie del jardín interior y no acumulan excesiva biomasa, por tanto también serían adecuados para captar agua de lluvia. Los sumideros de los patios recogen el agua que viene de las

cubiertas superiores y la captada en su propia superficie



Es importante destacar que la plaza tiene un 2'7% pendiente hacia Villarroel (con una diferencia de cota entre esquinas interiores de 1'25 m., en 46 m. de longitud).

Figura 2. Cubiertas y patios en planta baja de edificios de C/ Casanova.

5.3.2 DIMENSIONADO

Método 1. Volumen mínimo recomendado.

Disponemos de 280 m² de césped ($K_c = 1$), 90 m² de arbustos mediterráneos ($K_c = 0.5$) y 30 árboles (1'5 m² por árbol y $K_c = 0.5$).

Por tanto, el cálculo sería:

(TR = 30 días)

$$((280 \times 6 \times 30) + (90 \times (6 \times 0.5) \times 30) + (45 \times (6 \times 0.5) \times 30)) = \mathbf{62.55 \text{ m}^3}.$$

El depósito mínimo recomendado sería de 62.55 m³. De los depósitos de catálogo, el que más se aproxima es de 75 m³, o la conexión en serie de varios depósitos de menor tamaño.

Método 2. Volumen recomendado.

- Cálculo Dotación media

Superficie total: $280 + 90 + 45 = 415 \text{ m}^2$

Césped ($K_c = 1$) = 6 l/m^2 y día (280 m^2)

Arbustos ($K_c = 0.5$) = 3 l/m^2 y día (90 m^2)

Árboles ($K_c = 0.5$) = 3 l/m^2 y día (45 m^2)

$$((6 \times 280) + (3 \times 90) + (3 \times 45)) / 415 = 5.02 \text{ l/m}^2 \text{ y día}$$

Superficie de cubiertas = 1000 m^2

$C_e = 0.87$

MES	DÍAS	PRECIP. MEDIA (mm/m ²)	ABASTECIMIENTO (m ³)		DEMANDA (m ³)		DIF. (m ³)	
			Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado		
SEPT	30	85,00	73,95	73,95	62,50	62,50	11,45	+
OCT	31	100,00	87,00	160,95	64,58	127,08	33,87	MÁX.
NOV	30	55,00	47,85	208,80	62,50	189,58	19,22	+
DIC	31	50,00	43,50	252,30	64,58	254,16	-1,86	-
ENE	31	40,00	34,80	287,10	64,58	318,74	-31,64	-
FEB	28	40,00	34,80	321,90	58,33	377,08	-55,18	-
MAR	31	50,00	43,50	365,40	64,58	441,66	-76,26	-
ABR	30	55,00	47,85	413,25	62,50	504,16	-90,91	-
MAY	31	55,00	47,85	461,10	64,58	568,74	-107,64	-
JUN	30	40,00	34,80	495,90	62,50	631,24	-135,34	-
JUL	31	30,00	26,10	522,00	64,58	695,82	-173,82	-
AGO	30	50,00	43,50	565,50	62,50	758,32	-192,82	-

La cantidad máxima acumulada es de 33'87 m³, aproximadamente la mitad del volumen recomendado según el cálculo mediante el primer método.

Al valorar los resultados de ambos cálculos, podemos concluir que con la superficie de cubiertas disponible es posible cubrir más del 50 % de las necesidades de riego anuales. Al seleccionar el depósito a colocar tendremos en cuenta, además de los resultados obtenidos, la opción de sobredimensionar ligeramente la instalación para poder almacenar una cantidad extra de agua en episodios de lluvias torrenciales. Es

necesario contar con las limitaciones existentes: bajo el jardín del interior de manzana hay subterráneos (3 pisos) ocupados por dos parkings privados, por tanto no será posible enterrar el depósito debido a la falta de profundidad de las tierras (aprox. 2 m.). Se descarta así mismo la colocación de los depósitos en alguno de los parkings, ya que comportaría problemas de servidumbres. Dado que, como apuntábamos anteriormente, existe la posibilidad de colocar el depósito en superficie sin ocasionar molestias a los usuarios del jardín y del parque infantil, será la solución adoptada.

5.3.3 PROPUESTA DE SISTEMA DE RECOGIDA DE PLUVIALES

La instalación propuesta consta de 4 depósitos de 10 m³ rotomoldeados de polietileno de color blanco conectados en serie. Se colocarán en una superficie residual situada en la cota baja del interior de manzana (lado Villarroel), lo que permitiría aprovechar la pendiente del terreno para conducir las aguas pluviales recogidas en las cubiertas situadas en el otro extremo si se opta por llevar los conductos enterrados. En nuestro caso, para evitar tener que ejecutar una zanja a lo largo del jardín, optaremos por llevar los conductos vistos por los muros perimetrales, de 6m de altura, con una pendiente del 2% para posibilitar la entrada por gravedad del agua por la parte superior del primer depósito (la entrada está a 2.75 m.). El rebosadero de los tres primeros tanques estará conectado a la entrada del siguiente, y el último de los cuatro será el que disponga del rebosadero conectado a la red de alcantarillado, cuyo conducto está situado a 1 m. de distancia.

Los depósitos se asentarán sobre una bancada de 20 cm de hormigón armado con mallazo Ø10 15x15, conectada al forjado sobre el que se asienta (de 70 cm de canto) mediante varillas corrugadas Ø12 cada 50 cm., una vez retirada la capa superficial de adoquines y arena. La superficie de la bancada será de 3.75 m. x 13.75 m. La instalación contará con una valla perimetral (tipo Rivisa o similar), colocada sobre un murete de 60 cm de altura formado por bloques de hormigón de 15 cm. Se dejará espacio suficiente alrededor de los depósitos para garantizar un correcto mantenimiento y limpieza de la instalación (Anexo I: Planos)

Cada depósito cuenta con una bomba de presión interior (sumergible) que permite extraer individualmente el agua necesaria para el riego. Una de las ventajas de la instalación propuesta es que ofrece la

posibilidad de futuras conexiones de más depósitos en serie, si fuese necesario (bien porque se añade superficie de captación o porque se comprueba que es posible acumular más agua de la prevista debido a las lluvias torrenciales periódicas).

5.3.4 AMORTIZACIÓN Y VIABILIDAD ECONÓMICA

Una vez valorados los costes de la instalación (ver Anexo II, Presupuesto), que son de **33.323'94 €**, calcularemos el período de amortización teniendo en cuenta el precio actual del m³ de agua potable de red, que se sitúa en torno a 1'50 €, y una estimación de este precio a medio plazo, ya que los indicios apuntan a una fuerte subida en los próximos 5 años, hasta alcanzar la media europea, en torno a 3'50 €/m³. Evidentemente, este incremento reducirá el período de amortización considerablemente. Los cálculos son estimados, pues están sujetos a la pluviosidad anual.

Para realizar el cálculo del ahorro que significa el uso de aguas pluviales en el riego del jardín, hemos de recurrir a los datos de volúmenes obtenidos mediante los dos métodos utilizados: se recomendaba un volumen mínimo de 62.50 m³ para cubrir totalmente las necesidades de irrigación de la superficie existente, aunque, con la superficie de captación de pluviales disponible se aseguraba un volumen máximo de acumulación de 33.87 m³. La instalación final, ligeramente sobredimensionada (un 25%), dispone de un volumen total de 40 m³ ampliables. Si con el sobredimensionado se obtuviesen los resultados deseados, se cubrirían aproximadamente el 65% de las necesidades anuales del jardín, mientras que si la instalación acumula el volumen estimado según el 2º método se llegaría al 55%. Dado que no es posible prever que el sistema funcione a máxima capacidad constantemente, estimaremos en un 60 % el porcentaje de agua necesaria para el riego obtenida de la lluvia.

$$5'02 \text{ l/día y m}^2 \times 365 \text{ días} \times 415 \text{ m}^2 = 760400 \text{ l} = \mathbf{760'40 \text{ m}^3}.$$

$$760'40 \text{ m}^3 \times 0.60 = \mathbf{456'24 \text{ m}^3}$$

- Precio del agua potable de red = 1'50 €/m³

$$456'24 \text{ m}^3/\text{año} \times 1'50 \text{ €/m}^3 = \mathbf{684'36 \text{ €/año}}$$

A esta cantidad se le ha de restar (excepto el primer año, ya que está incluida en el presupuesto) la suma de 100,00 € anuales, en concepto de gastos de mantenimiento. Por tanto, el período total de amortización sería:

$$33323'94 \text{ €} - 684'36 \text{ €} = 32639'58 \text{ € (primer año)}$$

$$32639'58 \text{ €} / (684'36 - 100'00) \text{ €/año} = \mathbf{55'85 \text{ años}}$$

$$\begin{aligned} \text{Total período de amortización de la instalación} \\ = 55'85 + 1 = \mathbf{56'85 \text{ años}} \end{aligned}$$

- Precio del agua potable de red = 3'50 €/m3

$$456.24 \text{ m3/año} \times 3'50 \text{ €/m3} = \mathbf{1597'40 \text{ €/ año}}$$

Si restamos, como en la primera hipótesis, 100 € anuales a partir del primer año en concepto de mantenimiento, el período de amortización es:

$$33323'94 \text{ €} - 1597'40 \text{ €} = 31726'54 \text{ € (primer año)}$$

$$31726'54 \text{ €} / (1597'40 - 100'00) \text{ €/año} = \mathbf{21'19 \text{ años}}$$

$$\begin{aligned} \text{Total período de amortización de la instalación} \\ = 21'19 + 1 = \mathbf{22'19 \text{ años}} \end{aligned}$$

En este segundo supuesto, el periodo de amortización se acorta considerablemente, llegando a límites aceptables en cuanto a rentabilidad económica. Podemos deducir que el período real de amortización estará comprendido entre estos dos extremos, dando por hecho que el precio del m3 de agua potable se incrementará progresivamente a lo largo de los próximos años hasta llegar a las tarifas habituales en el resto de la Unión Europea. Pero, como hemos comprobado, a día de hoy la amortización de una instalación de más de 30.000 € es, prácticamente, a 57 años, y supera el período de vida útil de muchos de los componentes. Es inviable si nos regimos únicamente por criterios de rentabilidad.

06. CONCLUSIONES

Desde nuestro punto de vista, la instalación de un sistema de recogida de aguas pluviales no debe de ser valorada desde un punto de vista exclusivamente económico. Las razones que han de llevar a los ciudadanos e instituciones a promover el uso de las aguas pluviales tienen más que ver con el aprovechamiento de un recurso disponible y valioso que con la viabilidad económica.

Según el Instituto Nacional de Meteorología, la tendencia en los próximos años apunta a un descenso de la pluviosidad media anual y a un aumento de los episodios de lluvias torrenciales, lo que en la práctica significará menos recursos hídricos. Los sistemas de aprovechamiento de pluviales podrían ayudar a paliar los previsibles problemas.

Consideramos que los criterios de sostenibilidad y ahorro de recursos han de estar por encima de los económicos, y la viabilidad de este tipo de instalaciones no ha de estar sujeta a un periodo de amortización razonable. Los beneficios aportados en cuanto a aprovechamiento de recursos y mejora de las condiciones de las especies vegetales no pueden verse empañados por los costes.

Si tenemos en cuenta las severas restricciones sufridas en la provincia de Barcelona en el año 2008, incluida la prohibición de regar zonas verdes con agua potable de red, y la tendencia que se apunta desde el INM para un futuro próximo, podemos llegar a la conclusión de que la instalación de un sistema de recogida y aprovechamiento de aguas pluviales puede significar, sencillamente, la supervivencia de un jardín urbano.

07. ANEXO I. PLANOS

08. ANEXO II. PRESUPUESTO

**PRESUPUESTO DE
EJECUCIÓN MATERIAL**

(NOTA: a los precios unitarios se les ha aplicado el porcentaje correspondiente al Beneficio Industrial)

		<i>Ud.</i>	<i>€</i>	<i>Total (€)</i>
CAPÍTULO I. ESTRUCTURA				
1.1 BANCADA				
1.1.1 HORMIGÓN				
	m3 Hormigón HA-20/B/20/Ila	10,00	72,50	725,00
1.1.2 HIERRO				
	m2 Mallazo Ø10 15x15 cm	52,00	1,32	68,64
	ml. Varilla corrugada Ø12	10,00	0,59	5,90
1.1.3 MANO OBRA				
	h. Oficial + Peón en trabajos de retirada de adoquines y tierras de base, encofrado de bancada, colocación de conectores y mallazo y vertido del hormigón.	24,00	70,00	1680,00
TOTAL CAPÍTULO I				2.479,54 €
CAPÍTULO II. VALLADO PERIMETRAL				
2.1 MURETE DE BLOQUE DE HORMIGÓN				
	PA Ejecución de 18 ml. de murete de bloque de hormigón de 15 cm hasta una altura de 60 cm., incluido material de agarre y varillas conectoras Ø12 embebidas en la primera hilada	1,00	419,80	419,80
2.2 VALLA PERIMETRAL				
	PA Colocación de valla tipo Rivisa de 2 m. de altura sobre murete de bloque de hormigón de 15 cm.	1,00	1488,95	1488,95
	Ud. Puerta tipo rivisa de 1m x 2,40m	1,00	273,00	273,00
TOTAL CAPÍTULO II				2.181,75 €

CAPÍTULO III. FONTANERÍA

3.1 CONDUCTOS PVC

PA 155 ml. De tubo de PVC de 125 mm, abrazaderas y soportes anclaje a muros exteriores. Incluidos codos 90º y piezas en Y	1,00	1159,25	1159,25
---	------	---------	---------

3.2 MANO DE OBRA

h. Oficial + peón en conexión de los bajantes pluviales existentes al trazado de conductos de la instalación. Colocación de conductos PVC en muros perimetrales de interior de manzana, hasta depósitos.	48,00	70,00	3360,00
--	-------	-------	---------

TOTAL CAPÍTULO III			4.519,25 €
---------------------------	--	--	-------------------

CAPÍTULO IV. EQUIPO DE RECOGIDA DE AGUAS PLUVIALES

4.1 DEPÓSITOS

Ud. Depósito rotomoldeado redondo de polietileno de 10 m3 de volumen interior, acabado exterior en color blanco. Dimensiones (cm.): Ø245 x 275 altura. Referencia DSRP 10000 B. (Aiguadepluja Innovacions SL)	4,00	3376,00	13504,00
---	------	---------	----------

4.2 BOMBAS

Ud. Bomba sumergible con dispositivo de aspiración flotante. Modelo para conectar manguera de riego exterior. Capacidad 3000 l x min.	4,00	555,75	2223,00
---	------	--------	---------

4.3 FILTROS

Ud. Filtro E500 para colocación en exterior de depósito, indicado para superficies de 500 m2	2,00	711,00	1422,00
--	------	--------	---------

4.4 PIEZAS REBOSADERO

Ud. Rebosadero con dispositivo anti animales	4,00	109,50	438,00
--	------	--------	--------

4.5 INSTALACIÓN Y TRANSPORTE

h. Oficial + Peón en
colocación de depósitos en
obra y puesta en marcha de la
instalación

24,00	70,00	1680,00
-------	-------	---------

Ud. Transporte de depósitos a
pie de obra

1,00	280,00	280,00
------	--------	--------

		19.547,00
TOTAL CAPÍTULO IV		€

		28.727,54
TOTAL PRESUPUESTO		€

IVA	
16%	4.596,40 €

TOTAL	33.323,94
	€

09. ANEXO III. BIBLIOGRAFÍA

Monografías:

- SAURÍ, David / CANTÓ, Sergi (2007)
Integración de Políticas Sectoriales: Agua y Urbanismo
Departamento de Geografía, Universitat Autònoma de Barcelona
- VAZQUEZ-SUÑÉ, Enric (2003)
Urban Groundwater. Barcelona City Case Study.
Doctoral Thesis
2003
- MUÑOZ, F. M. (2004)
Urbanalització: la producció residencial de baixa densitat a la província de Barcelona, 1985-2001
Departamento de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona
Tesis Doctoral
- TELLO, E. (2005)
L'interrogant. L'aigua, un dret o un servei?
Revista Medi Ambient, Tecnologia i Cultura, nº 36
(http://mediambient.gencat.net/cat/el_departament/revista/36/)
- HERNÁNDEZ-CROS, Josep Emili / GRANADOS, Josep Oriol /
Equip del Servei de Protecció del Patrimoni Monumental,
Àrea d'Urbanisme i Obres Públiques, Ajuntament de Barcelona (1994)
Catàleg del Patrimoni Històric-Artístic de la ciutat de Barcelona
Volumen editado por el Ajuntament de Barcelona
- MARTÍN VIDE, Javier / LLASAT BOTIJA, M^a Carmen (2000)
Las precipitaciones torrenciales en Catalunya.
- Servei Meteorològic de Catalunya - Departament de Medi Ambient i Habitatge (2008)
Atles Climàtic de Catalunya. Període 1961-1999. (ACC 61-99)
Atles Climàtic Digital de Catalunya (ACDC 61-99)
- PARÉS, M. (2005)

Espai públic enjardinat: impactes ambientals, model urbà i individualització a la regió Metropolitana de Barcelona
Documentos de análisis geográfico.

- BATLLE, Enric / RUEDA, Salvador / FARRERO, Antoni / CORRALIZA, Jose Antonio (2007)
Verd urbà: com i per qué?
Fundació Territori i Paisatge de Caixa Catalunya
- WIARTALLA, Werner (2006)
Sostenibilidad en la UFA
Fabric de Berlín.
Ponencia
http://www.aepjp.com/ponencia2006_7.pdf

Páginas Web consultadas:

www.gencat.net

www.bcn.es

www.meteocat.com

www.ocu.org

www.mediambient.gencat.net

www.mediambient.bcn.es

www.eve.es

www.agbar.es

www.clabsa.es

www.meteored.com

www.geocities.com

www.polivalencia.com

www.bioconstruccion.biz
www.inah.gob.mx
www.mayas.uady.mx
www.lenntech.com
www.parque-tikal.com
www.farmingsolutions.org
www.soloarquitectura.com
www.monografias.com
www.dearqueologia.com
www.celtiberia.net
www.europapress.net
www.construnario.com
www.tehsa.com
www.gobcan.es
www.vidasostenible.org
www.institutdelaigua.info/
www.acuamed.com
www.elriego.com
www.ostargi.biz
www.cv.uoc.edu
www.xtec.cat

www.remosa.net

www.depositosaguaspluviales.com

www.agroterra.com

www.trlantz.es

www.aiguadepluja.cat

10. ANEXO IV. MAPAS DE PLUVIOSIDAD

