

PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA MEJORA DE LOS SISTEMAS HÍDRICOS EN ENTORNOS URBANOS DE PEQUEÑO TAMAÑO

METHODOLOGY PROPOSAL TO IMPROVE HYDRAULIC SYSTEMS IN SMALL URBAN ENVIRONMENTS

Ernesto Echeverría Valiente ¹

Fernando da Casa Martín ²

Flavio Celis D'Amico ³

Resumen

El agua es un bien escaso, preciado y cada vez más cotizado. Es una obligación legal y moral no solo consumir menos, sino consumir mejor. Desde este artículo pretendemos poner a disposición de la comunidad científica varias experiencias en la línea de intervención en el ciclo del agua para uso humano, mediante una propuesta de metodología de gestión de agua en conjuntos urbanos de pequeño tamaño, reduciendo el consumo, reciclando y reutilizando en origen el agua, evitando de esta forma además la sobrecarga de las instalaciones de desagüe y depuración existentes. También se aportan algunas experiencias realizadas en la gestión del agua en edificios, como muestra de las posibilidades de la arquitectura para regular el primer filtro de tratamiento, previo al de las intervenciones urbanas.

Palavras-chave: Recurso hídrico, Gestión Integral, Optimización, Estrategia.

Abstract

Water is a rare and precious commodity, and is increasingly valued. It is a legal and moral obligation not only to consume less, but to consume better. From this article, we intend to make available to the scientific community various experiences in the line of intervention in the water cycle for human use, through a proposed water management methodology in small urban complexes, reducing consumption, recycling and reuse of water at the source. Avoiding the overload of the existing drainage and purification facilities. Some experiences carried out in the management of water in buildings are also provided, as an example of the possibilities of architecture to regulate the first treatment filter, before urban interventions.

Keywords: Hidric resource, Integral management, Improvement, Strategy.

¹ Universidad de Alcala, España, orcid.org/0000-0002-6826-5756, ernesto.echeverria@uah.es

² Universidad de Alcala, España, orcid.org/0000-0002-2728-4424, fernando.casa@uah.es

³ Universidad de Alcala, España, orcid.org/0000-0003-3931-6056, flavio.celis@uah.es

INTRODUCCIÓN: EL AGUA COMO RECURSO

El aprovechamiento de los recursos hídricos ha sido parte del desarrollo de la sociedad. Desde el origen de los asentamientos humanos, antes incluso de los primeros desarrollos de la ingeniería hidráulica, los núcleos urbanos se enclavaban en los lugares en los que el suministro de agua estaba garantizado (1).

La construcción de presas, puentes, acueductos, canales, así como los sistemas de evacuación y saneamiento (2), consiguieron aumentar y mejorar la relación con este recurso, lo que facilitó la ubicación y el asentamiento de la población en otras zonas del territorio, incluso en aquellas más alejadas de las fuentes primarias de suministro.

Así mismo, el uso del agua ha sido uno de los factores fundamentales del desarrollo económico, tanto en el sector industrial (papelero, textil, químico, construcción), como en el sector de la alimentación y la agricultura, sin dejar atrás la producción de energía (molinos, batanes, saltos de agua, presas hidroeléctricas...)

El agua no sólo condiciona aspectos relativos al uso primario o al consumo de la misma. La influencia de las masas de agua y de la humedad en el clima general y en los microclimas de proximidad tiene una influencia determinante en las condiciones del confort térmico. El uso del agua se ha sido tenido en cuenta repetidamente a lo largo de la historia como sistema de mejora de las condiciones interiores de confort en los edificios, y ha sido objeto de estudio en numerosos manuales de arquitectura (3, 4).

Problemática y vulnerabilidad

El agua es un bien escaso. Las reservas disponibles han sufrido enormes presiones por la sobreexplotación industrial y urbanística, con un constante maltrato en forma de contaminación y desperdicio. Se trata de un recurso limitado, y como tal debe ser gestionado, atendiendo a medidas de optimización del consumo, de mejora de la calidad del agua para cada uso, además de tener previstas medidas de recuperación y reutilización.

El agua no es un recurso ni permanente, ni constante. La escasez de precipitaciones y la escasez de agua potable es un invariante en nuestra memoria histórica, dependiendo tanto de la variabilidad del clima como de la capacidad de almacenamiento y distribución eficaz de los recursos hídricos. Por otro lado, fenómenos como la gota fría o tormentas tropicales provocan un exceso de precipitaciones con catastróficas consecuencias, como las que ocurren de forma recurrente en zonas muy concretas.

Es difícil saber si la frecuencia de estos acontecimientos son fruto de los "periodos de retorno", cumpliendo sus medias de catástrofes periódicas, o si son consecuencia del cambio climático. Lo que si es cierto, es que los fenómenos extremos parecen haberse incrementado en frecuencia e intensidad en los últimos años. También es determinante la antropización del territorio (5), la presión urbanística y la modificación del entorno natural de las poblaciones, en especial la ocupación de los cauces naturales de desagüe, lo que aumenta el efecto destructivo en caso de riadas e inundaciones que

suelen afectar a los grupos sociales más vulnerables que son las que suelen ocupar las zonas más deprimidas y problemáticas.

Otro de los puntos fundamentales de la gestión del agua atañe a la evacuación y tratamiento de las aguas residuales. Esto genera graves problemas que pueden afectar no sólo a la evacuación, sino también al propio suministro de agua. La interferencia entre redes de suministro y redes de evacuación ha sido una constante histórica y causa de numerosos conflictos. Por ejemplo, la amplia utilización de pozos ciegos o fosas sépticas sin control en la villa de Alcalá de Henares del Siglo XVI, llevó a la contaminación de su acuífero, y por ende a la generación de graves problemas de salud, que obligaron a plantear un nuevo sistema de suministro mediante viajes de agua (6).

La ausencia de planificación, al no tener en consideración aspectos como las infraestructuras disponibles, las circunstancias del entorno, las implicaciones de los cambios, genera afecciones medioambientales que pueden llevar a situaciones de crisis. Ante cualquier circunstancia, es positivo analizar las consecuencias de lo acontecido. Hay que considerar que una determinada actuación ha "fracasado", o ha sido "errónea" cuando no ha podido cumplir los requisitos o funciones para la que fue concebida. Los casos en los que esto ocurre son de gran interés para su estudio y análisis, ya que cada fracaso comporta, en sí mismo, una valiosa enseñanza adquirida a un alto precio (7).

POR UN USO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Aunque en general el consumo de agua en usos urbanos es inferior al de los usos agrícolas o industriales, hay zonas del territorio con mayor concentración de población en la que el uso urbano puede llegar al 75% del total.

Es por tanto interesante, plantear la siguiente reflexión: ¿Pueden reformarse las infraestructuras de la ciudad para contribuir a una mejor relación con los sistemas hidrológicos? Y, por ende: ¿cómo pueden estos modelos contribuir a la mejora del ciclo del agua? (8).

El objetivo fundamental de la presente contribución es plantear una metodología para definir un sistema de gestión integral del agua en ámbitos controlados, tanto en lo relativo al suministro como al tratamiento y reutilización de las aguas residuales, con la consecuente adaptación constructiva tanto a nivel de la edificación individual o colectiva, como a nivel urbano. Así mismo, se plantea la necesidad de realizar propuestas de carácter técnico que, ligadas a los condicionantes anteriores, puedan implicar acciones correctivas sobre los edificios, o sobre los sistemas urbanos (objetivo complementario). El objetivo final es el establecimiento de una gestión alternativa y global (9) del agua que optimice el consumo, minimice los residuos, y potencie al máximo la reutilización de los recursos (10).

La primera cuestión que se nos plantea es en términos de escala. Plantear una recuperación del equilibrio hídrico de forma global en la totalidad de una gran ciudad ya construida, o en grandes conjuntos urbanos, parece un objetivo excesivamente ambicioso dada la complejidad del problema y la cantidad de parámetros implicados. Parece más eficaz iniciar el estudio en ámbitos más pequeños, barrios o distritos acotados geográficamente, con

una superficie y población que permite controlar estos parámetros. El tamaño de estudio estaría entre 5.000 y 8.000 habitantes. Se contraponen una gestión centralizada a otra gestión descentralizada que pueda aprovechar las ventajas de la pequeña escala, tanto desde el aspecto medioambiental, como desde el punto de vista tecnológico y económico de las acciones a realizar. Normalmente se usan grandes sistemas de depuración de aguas residuales como es el caso del EDAR (Estación de Depuración de Aguas Residuales) oeste de Alcalá de Henares con capacidad de tratamiento de 21,5 millones de m³, lo que equivale a una población de 375.000 habitantes además de dar servicio a la zona industrial de la ciudad.

En este tipo de acciones influye la cultura del agua de los ciudadanos afectados, esto es, la forma de entender el modo de usar el agua. Ello implica la necesidad de incorporar una evaluación exhaustiva de las costumbres y de las necesidades por usos, además de introducir factores relativos a los hábitos de consumo (11). Conocer de dónde se parte, y realizar una labor de concienciación importante.

Todos estos aspectos influyen a la hora de plantear los correspondientes sistemas de tratamiento, medida, control y recomendación de acciones para un mejor y más eficaz sistema de gestión y aprovechamiento de los recursos hídricos (12).

Para la identificación del sistema más adecuado a proponer, se ha establecido una metodología de base, que analice y considere la gran cantidad de variables que pueden condicionar la totalidad de los parámetros de afección. En este estudio, ponemos las bases para que esta iniciativa se pueda aplicar a otros casos de estudio en otras ubicaciones.

PROPUESTA METODOLÓGICA

Para poder llevar a cabo un estudio de este tipo es necesario movilizar un equipo pluridisciplinar de diseño integrado en el que participen especialistas en arquitectura, urbanismo, hidrología, hidrogeología, paisajismo, ingeniería, tecnología, y salud pública, entre otros (13).

La propuesta que se presenta, está participada por miembros de la Universidad de Alcalá, integrando investigadores especializados del Grupo de Investigación reconocido de la UAH "Intervención en el Patrimonio y Arquitectura Sostenible" (CCTE2006/F34), y complementado con miembros de otros grupos de la UAH (como los del Instituto Madrileño de Estudios Avanzados del AGUA, IMDEAA), con un carácter específico propio de la temática de la propuesta. Este Grupo así conformado ha trabajado en temáticas relacionadas con el agua, el reciclado y tratamientos de agua, en ámbitos relacionados con la ciudad, la arquitectura, la edificación, la ingeniería civil, y sus infraestructuras, integrando los campos de la sostenibilidad y la calidad medioambiental.

Los sistemas de diseño integrado multidisciplinarios han demostrado su eficacia en la gestión de problemas complejos como es la gestión del agua, donde coexisten numerosos parámetros y variables. Cada vez más, un mayor número de actores necesitan estos nuevos sistemas y criterios de gestión, para tomar decisiones adecuadas. La potencial extrapolación de la metodología de estudio a otras entidades urbanas de mayor tamaño, presenta una gran relevancia en el objetivo de la propuesta. Puede permitir avances en su aplicación, tanto desde la pequeña escala, como mejoras en

aspectos como la calidad ambiental, como en otros aspectos relacionados con la recuperación y la reutilización del recurso hídrico.

La investigación que se presenta se plantea dentro de un estudio piloto en un barrio de Alcalá de Henares, ciudad proxima a Madrid, construido en la segunda mitad del pasado siglo XX. Se trata de un barrio prototípico de gran parte de la edificación residencial urbana de nuestras ciudades realizada durante la época del desarrollismo, con escasos o nulos criterios de sostenibilidad. Un barrio donde se pueden introducir y probar diferentes tecnologías de almacenamiento, distribución, suministro y conservación de agua, además de poder desarrollar tratamientos experimentales de gestión de aguas residuales. El tamaño de este barrio estaría entre los 5.000 y los 8.000 habitantes. Se busca que tenga una escala suficiente para poder generar beneficios globales pero que por su pequeño tamaño permita acciones de proximidad y reduzca los recorridos de las tuberías.

Como resultado de la misma se establece una metodología concreta de potencial aplicación. Para su aplicación se parte de un correcto diagnóstico de la situación de partida, que permita detectar las características del elemento sobre el que se pretende actuar y detectar los campos de mayor aplicación de las mejoras. Todo ello considerando aplicar técnicas para el seguimiento y control de la gestión de los recursos hídricos.

Las diferentes aproximaciones de aplicación de esta metodología a cualquier ubicación serían las siguientes (figura 1):

Figura 1: Metodología de trabajo. Elaboración propia



1ª aproximación: Análisis del ámbito científico general sobre el tema

Para el inicio de la investigación, al igual que en cualquier otra investigación, se ha procedido a la recopilación de toda la información existente con carácter general.

- Estudios previos y experiencias realizadas: se detectan los puntos críticos y singularidades propias de cada entidad urbana estudiada (14) y se analizan los ejemplos prácticos y las experiencias previas realizadas.
- Tecnología existente en sistemas de recuperación, depuración y reutilización.

2ª aproximación: Elaboración del diagnóstico de la entidad urbana seleccionada.

En esta fase se trata de obtener un conocimiento desde el punto de partida, de los condicionantes y de las limitaciones que se disponen en el entorno de actuación. Entre otros, se estudian los siguientes aspectos:

- Conocimiento del entorno físico del lugar de aplicación: se estudian las características de la ciudad, la delimitación del ámbito de aplicación, y las características generales del lugar objeto de estudio.
- Caracterización geológica, edafológica e hidrogeológica del ámbito de aplicación. Se hace una revisión y elaboración de cartografía geológica de detalle del ámbito de aplicación. Incluye un muestreo y análisis mineralógicos y químicos de sedimentos, suelos y materiales de zona no saturada representativos del ámbito de aplicación y muestreo y análisis químicos del agua en la zona no saturada y de aguas pluviales, grises, etc. Se toman medidas de control piezométrico para definir la situación hidrogeológica y la evaluación del balance hídrico del suelo y la modelización hidrogeológica de la zona no saturada. Se hace una caracterización espectro-radiométrico de los parques y jardines.
- Conocimiento del entorno social del barrio: se estudian aspectos de carácter económico y sociológico.
- Conocimiento del estado actual de la infraestructura de suministro: se toman datos de la instalación general, trazado y disposición urbana así como la tipología de la instalación de los bloques y de las viviendas y la tipología de las instalaciones asociadas a parques y jardines (origen del suministro, tecnología de riego, cuantificación volumétrica).
- Conocimiento del estado actual de la infraestructura de recogida y evacuación: se toman datos de la instalación general, trazado y disposición urbana así como la tipología de la instalación de los bloques y de las viviendas y la tipología de las instalaciones exteriores (imbornales, superficies de absorción). Es importante también tener en cuenta los riesgos considerados (contaminación, mal reciclado, pérdidas,...) así como los sistemas de depuración actuales (centralizada, única, mixta, separativa) y el punto de vertido final.
- Conocimiento del grado de funcionalidad de las instalaciones en cuanto a consumos, aprovechamientos y planificación de futuro. También se analizan las tecnologías aplicadas de almacenamiento y reciclaje de aguas grises, pluviales, etc. así como posible recuperación de energía térmica (15).
- A modo de resumen se obtendrá la determinación de debilidades y problemáticas de la instalación: cumplimiento de las necesidades hídricas de los espacios verdes; control y seguimiento de la evolución piezométrica de las aguas subterráneas; detección de pérdidas y filtraciones en

infraestructuras hidráulicas (abastecimiento y transporte); y vigilancia del estado ambiental de aguas superficiales

3ª aproximación: Análisis de alternativas de propuestas concretas de aplicación

Esta fase dependerá fundamentalmente de la anterior, ya que deberá responder a las necesidades y condicionantes derivados del conocimiento del lugar. Si bien se establecen una serie de ámbitos sobre los que se podrían plantear alternativas de actuación.

· Respecto de las superficies exteriores retentivas y no retentivas de ámbito urbano (16) debemos tener en cuenta: Conveniencia y condiciones de la filtración; Sistemas de recogida; Tecnologías de tratamiento de aguas y procesos híbridos o procesos de membranas; Uso de SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible) (17). Este tipo de aguas tienen diferentes usos potenciales: en la generación de microclimas en zonas exteriores; en sistemas de riego jardines; en sistemas de limpieza exterior y de canalizaciones de evacuación; ó en huertos urbanos.

· Respecto del control de la escorrentía contaminada. Podemos seguir la enumeración de Sara Perales en su ponencia dentro de la 5ª semana temática de la tribuna del agua:

Cubiertas Ecológicas (Green Roofs) (18), Superficies Permeables (Porous/Permeable Paving), Franjas Filtrantes (Filter Strips), Pozos y Zanjas de Infiltración (Soakaways & Infiltration Trenches), Drenes Filtrantes (Filter Drains), Cunetas Verdes (Swales), Depósitos de Infiltración (Infiltration Basins), Depósitos de Detención (Detention Basins), Estanques de Retención (Retention Ponds) y Humedales (Wetlands) (17, p.4).

· Respecto de la reutilización de aguas pluviales recogidas en la edificación hay que considerar la incorporación de sistemas de recogida separativa, el uso de sistemas de almacenamiento y los sistemas de distribución para su reutilización.

· Respecto de la reutilización de aguas grises hay que considerar la incorporación de sistemas separativos de recogida, el uso de sistemas de almacenamiento y un sistema de tratamiento diferenciado. Hay que estudiar la conveniencia de unificación con agua pluvial y los sistemas de distribución para nuevos usos. Incluso se há llegado a proponer su uso para la generación de energía térmica o electricidad (15, 19).

· Respecto de la actuación sobre aguas fecales se estudian los sistemas de recogida y depuración y la viabilidad de la separación del material sólido. También se analizan la posición y tamaño de las estaciones depuradoras, los sistemas de recuperación de calor residual usando sistemas de intercambio de calor por aire, o por las paredes de los conductos.

· Respecto de la posibilidad de tratamientos diferenciados según calidad de agua demandada (parámetros de calidad "ajustable"): se debe hacer la determinación de los sistemas de aplicación, la determinación de parámetros ajustables y la determinación de las condiciones para la aplicación. con esto tendremos la propuesta de los sistemas a ejecutar y el análisis de costes de implantación.

- Respecto de la posibilidad de gestión “desagrupada” de los tratamientos se estudia la compatibilidad con la tecnología actual para actuar en pequeños volúmenes de agua y se Determinan las deficiencias. Se plantean “kits” de intervención, según tipología edificatoria.
- Respecto del aprovechamiento de las instalaciones de las estaciones depuradoras actuales, se incorporará en la nueva estrategia añadiendo usos alternativos de carácter público.
- Respecto de la adopción de medidas no estructurales se debe tener en cuenta que se está usando la superficie del terreno como captador de agua de lluvia, por lo que se deben tomar precauciones que garanticen la mejora calidad del agua (17) (control de las sustancias químicas usadas en los parques, limpieza de las superficies para reducir la contaminación y colapso por sedimentos, y evitar las conexiones ilegales a la red de drenaje de aguas no controladas).

4ª aproximación: Análisis de factores de estudio.

Esta fase, al igual que la anterior, dependerá fundamentalmente de los datos de la fase II. Tiene como objetivo conocer cuáles son los condicionantes específicos para la determinación de las medidas concretas a proponer. Entre otros, se puede encontrar:

- Respecto de los costes económicos es necesario conocer la disponibilidad de financiación para la ejecución de las acciones y la viabilidad dependerá del montante y de la capacidad de endeudamiento.
- Respecto de las implicaciones urbanas es preciso conocer la posibilidad de simultanear las acciones, o de anular el servicio de suministro o evacuación de las redes actuales.
- Respecto de los plazos de ejecución, necesitamos conocer los tiempos, y fases temporales del desarrollo de la acción a proponer y tiempos precisos para obtener resultados.
- Respecto de los beneficios sociales a obtener: Serán un argumento para que la población soporte las molestias que generan las actuaciones
- Respecto de los beneficios medioambientales: Si bien no suelen ser argumentos que convengan a los usuarios de primeras, si son de interés aportar para disponer de un punto de vista más global.

5ª aproximación: Propuesta de las medidas. Proceso de implantación.

Es la última fase se deben presentar propuestas concretas de entre las diferentes alternativas que responden a las necesidades y condicionantes derivados del conocimiento del lugar, y que cumplen los parámetros concretos analizados en el punto anterior. En esta fase se debe tener en cuenta:

- Presentación de las medidas concretas de acción argumentadas y definidas técnicamente de modo suficiente, con su valoración económica, y condicionantes particulares para su ejecución.

- Programa paralelo de información a la ciudadanía, para su conocimiento, y participación en el proceso de implantación con la concienciación de los modos de actuar en los procesos de transición entre un sistema y otro.
- Cronograma de acciones, medidas de control y seguimiento del proceso, para determinar el avance de la actuación y adelantarse con antelación a las problemáticas que pudieran surgir.
- Implementación de una Base de Datos documental geográfica (SIG) en la que se almacene de modo estructurado y georreferenciada, toda la información relevante de esta actuación para la consulta, tratamiento, análisis y presentación de informes y resultados que sirva como referencia para el resto de la comunidad científica.

ESCALA DE INTERVENCIÓN. EXPERIENCIAS PREVIAS EN ARQUITECTURA

Se presentan a continuación algunos casos de estudio que pueden ser usados como experiencias previas de desarrollos a pequeña escala de metodologías aplicadas de gestión integral de agua en edificación. Se trata de experiencias en la aplicación de medidas de tratamiento específico de aguas residuales, grises y pluviales, aprovechando los 30 años de experiencia en la elaboración de proyectos de edificación de arquitectura sostenible del equipo de investigadores.

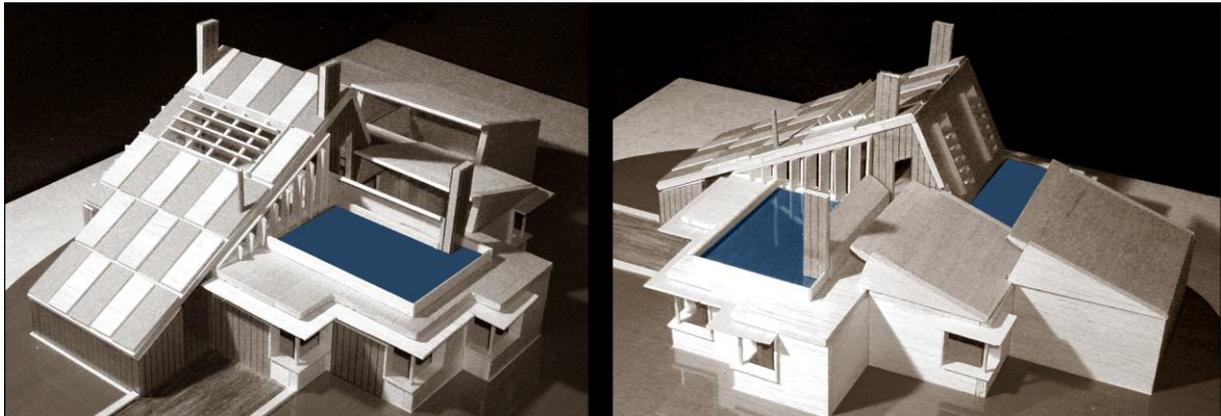
Los ejemplos se aplican en varias escalas, desde una vivienda unifamiliar hasta en unos bloques de vivienda, pasando por un edificio dotacional. En estas tres escalas el objeto de estudio es la propuesta de implementación de alternativas complementarias a sus propios sistemas de instalaciones. Se trata de la mejora de elementos existentes, con la incorporación puntual de nuevos sistemas, o de una alternativa de sustitución de los sistemas habituales. El objetivo es la implementación de un sistema de gestión integral de agua a pequeña escala, que sirva de paso previo para la reutilización del agua en sistemas urbanos de mayor escala.

Ejemplo de gestión integral del agua en una vivienda unifamiliar:

En este caso la gestión del proyecto fue sencilla, al tratarse de un promotor privado individual, ya concienciado con cuestiones medioambientales. Se trata de una vivienda energéticamente eficiente, desarrollada con criterios bioclimáticos, maximizando orientaciones de captación solar en invierno, minimizando la entrada de radiación en verano, mejorando el aislamiento de la envolvente por encima de la normativa, y utilizando energías renovables para apoyo de ACS y calefacción.

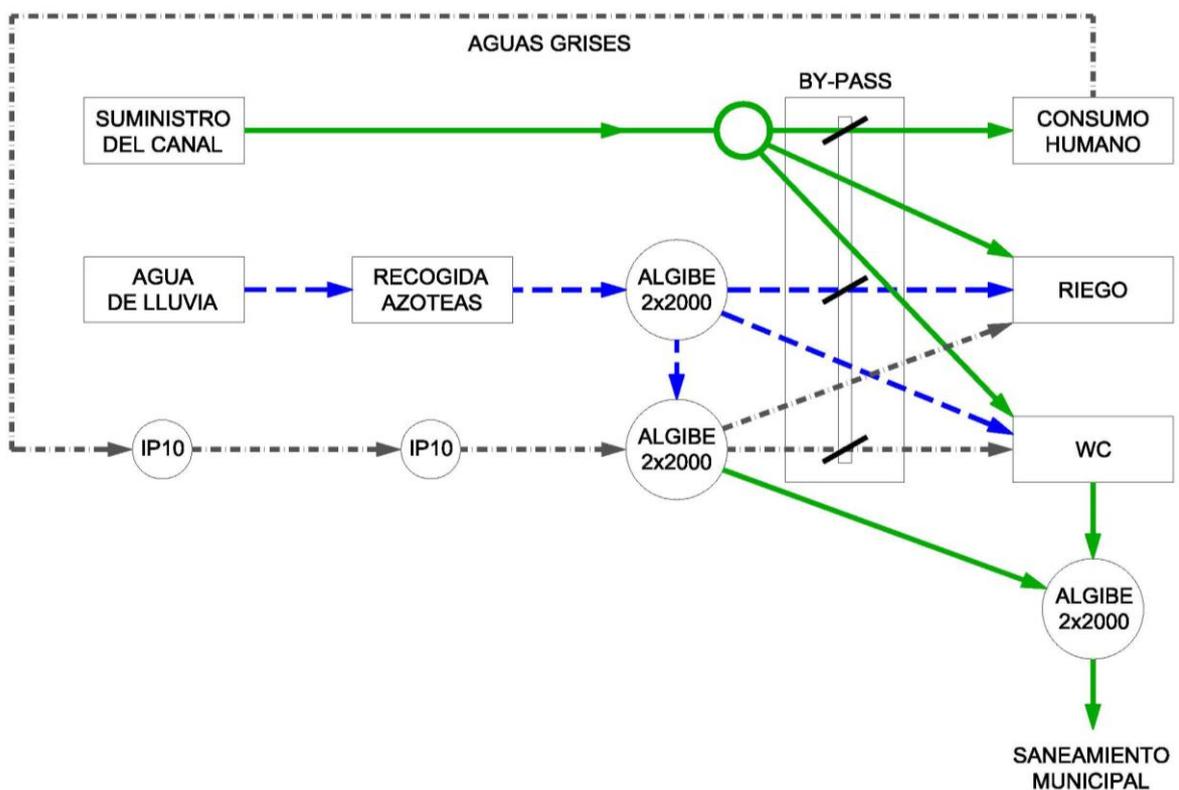
Dentro de la filosofía de desarrollo sostenible de la vivienda, la estrategia usada en el proceso de gestión del agua fue la reducción del consumo mediante la utilización de grifos y aparatos eficientes, el cultivo de especies vegetales con una necesidad hídrica reducida, y el diseño de un triple sistema de recogida de aguas: pluviales, grises, y fecales. Esta recogida selectiva se completa con los sistemas de purificación necesarios en cada caso, y sirve en parte como regulador térmico de la vivienda, al situar parte del almacenamiento en cubierta (figura 2).

Figura 2: Espacios de acumulación de agua en cubierta. Elaboración propia



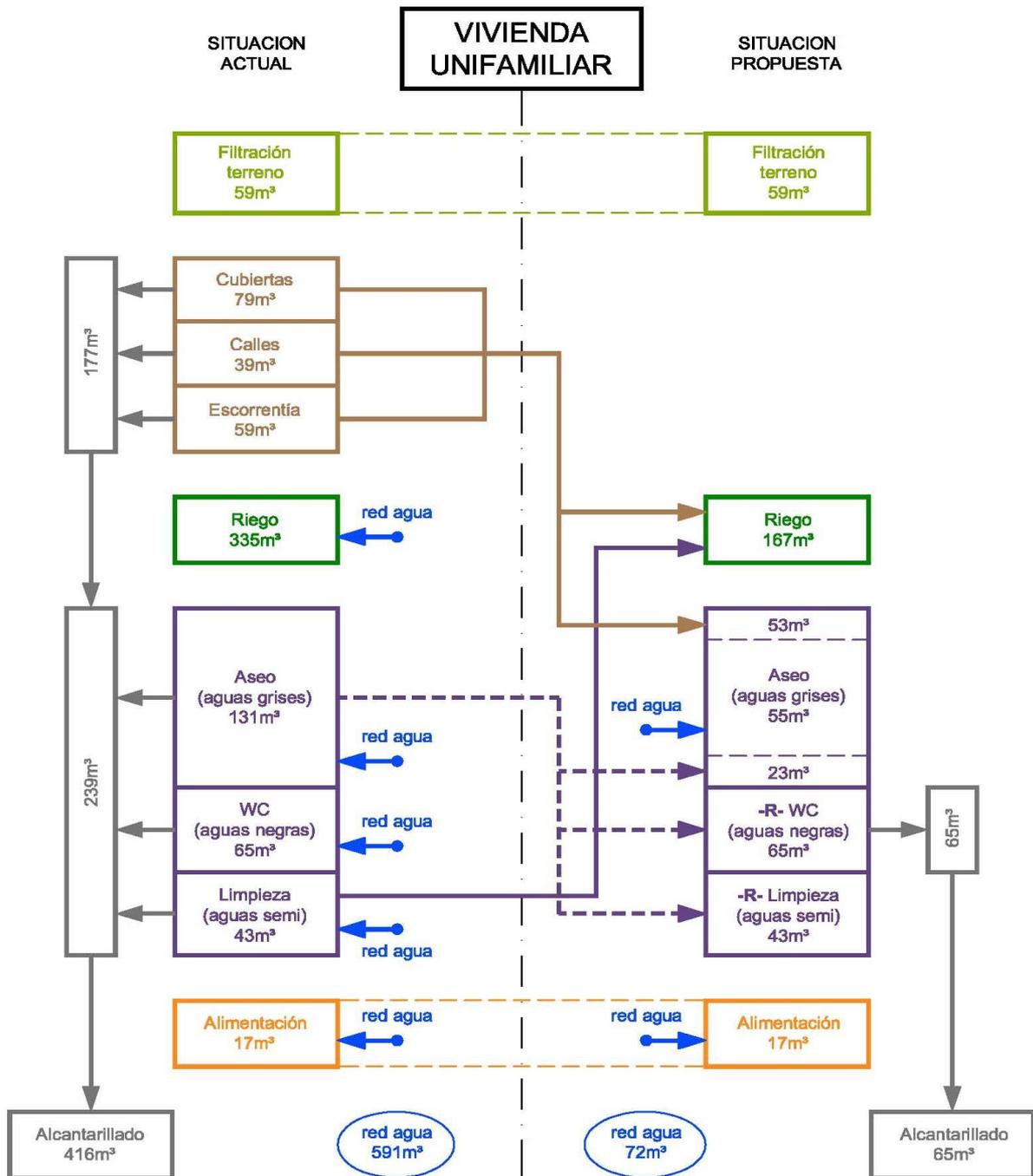
Con un sistema de válvulas anti retorno se diseña un circuito que permite utilizar el agua reciclada adecuada para cada uso, y en su defecto, permite bien el almacenaje, bien el volcado del agua sobrante para riego o su vertido al circuito municipal (figura 3).

Figura 3: Esquema de funcionamiento del reciclaje de aguas. Elaboración propia



En la figura 4 se muestra un esquema con los posibles ahorros en una vivienda unifamiliar con esta propuesta de tratamiento de aguas.

Figura 4: Esquema de ahorros de agua en vivienda unifamiliar. Elaboración propia

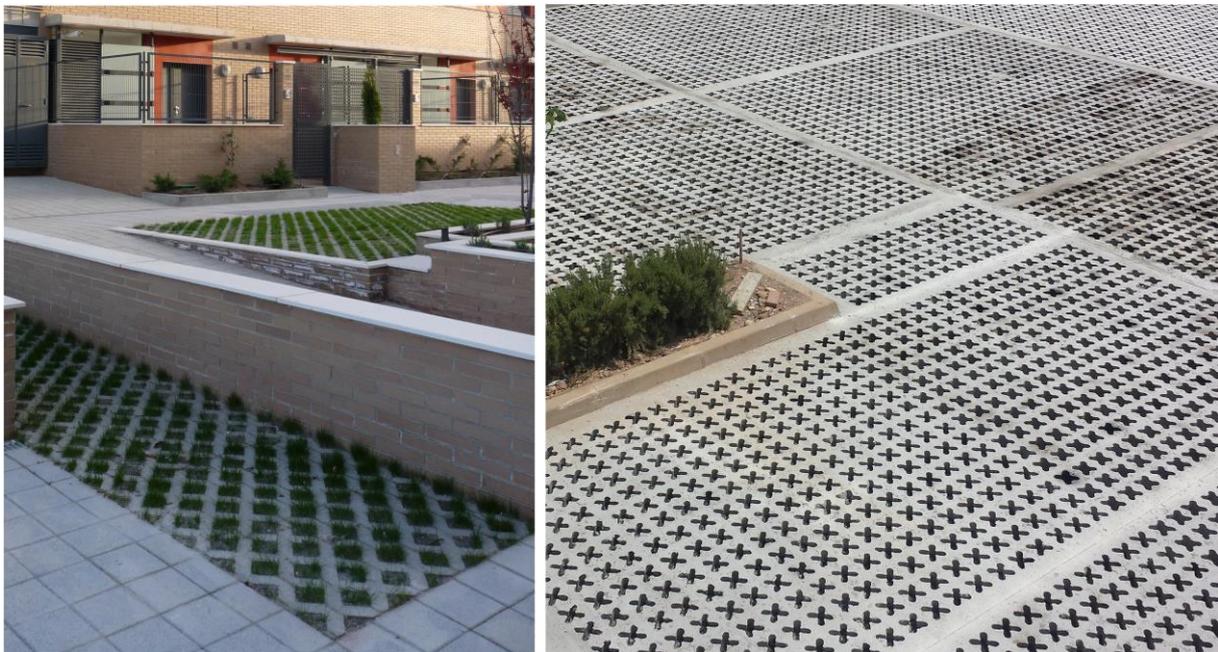


Ejemplo de gestión integral del agua en un bloque de viviendas.

En este caso se trata de una actuación de gestión más compleja, al tener que involucrar a un inversor privado acostumbrado a obtener una rentabilidad con un precio de construcción predeterminado. Las cuestiones de sostenibilidad al margen de la normativa se consideraban básicamente como un incremento de gasto, y no cómo un valor añadido a la promoción. A pesar de ello, se logró convencer al promotor no sólo de mejorar las condiciones de eficiencia energética de las viviendas, sino también poder mejorar la gestión del agua tanto en el uso doméstico como en el conjunto de la urbanización.

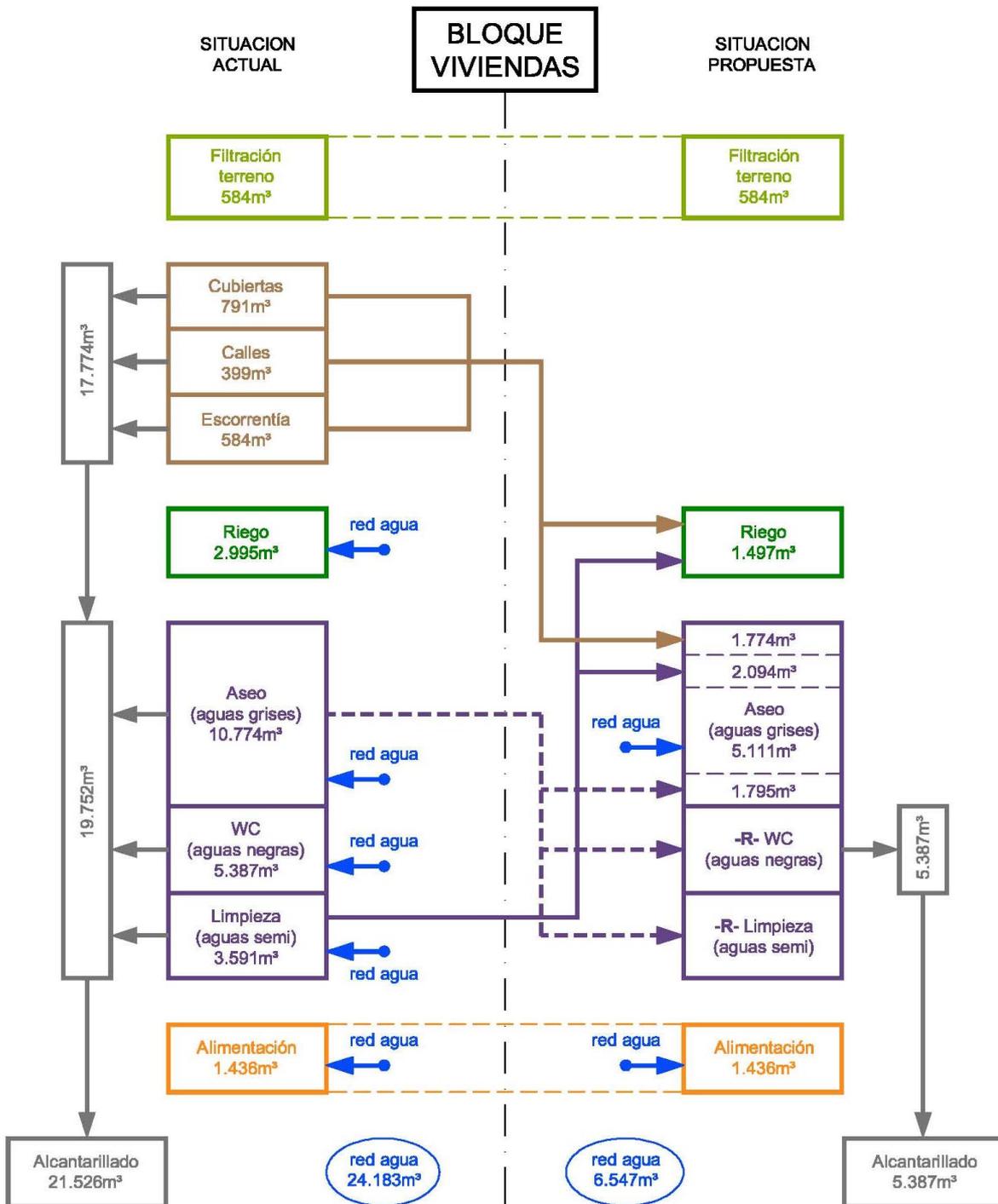
En este caso, a la reducción de los consumos particulares mediante la utilización de aparatos eficientes, se unió la reducción de los consumos comunitarios mediante la selección de especies vegetales autóctonas, de bajo mantenimiento y baja demanda hídrica. Se utilizó una red separativa de pluviales conectada a un sistema de alcantarillado municipal también separativo, y se recurrió al uso de pavimentos permeables al agua en las zonas de suelo urbanizado para reducir el volumen de agua vertido a la red de alcantarillado (figura 5).

Figura 5: Pavimentos permeables al agua. Elaboración propia



En la figura 6 se muestra un esquema con los posibles ahorros en una edificio de viviendas con esta propuesta de tratamiento de aguas.

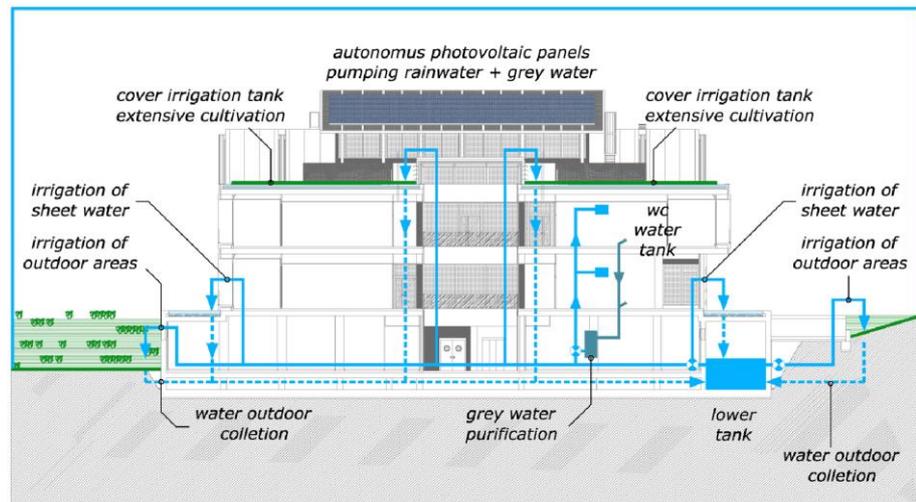
Figura 6: Esquema de ahorros de agua en Edificio de viviendas. Elaboración propia



Ejemplo de gestión del agua en un edificio dotacional de oficinas.

En este caso se interviene sobre un edificio existente de oficinas con una intervención doble, sobre el edificio existente y con una ampliación en superficie. Dado que se trataba de un edificio para la investigación experimental medioambiental, en este caso se pudieron incorporar mejoras y sistemas más desarrollados. Además de intervenir en la edificación existente mediante la mejora de la eficiencia térmica del conjunto (se mejoró el aislamiento, modificando orientaciones de algunos huecos e incorporando la energía geotérmica) se realizó una actuación integrada sobre el ciclo completo del agua (figura 7).

Figura 7: Esquema de funcionamiento del sistema de recuperación de agua. Elaboración propia



Se aprovecharon las azoteas para la instalación de aljibes superficiales y plantaciones de bajo consumo de agua que, además de funcionar como reservas hídricas para riego, mejoraban el aislamiento térmico y la inercia de los cerramientos horizontales (figura 8).

Figura 8: Aljibes superficiales en cubierta. Elaboración propia



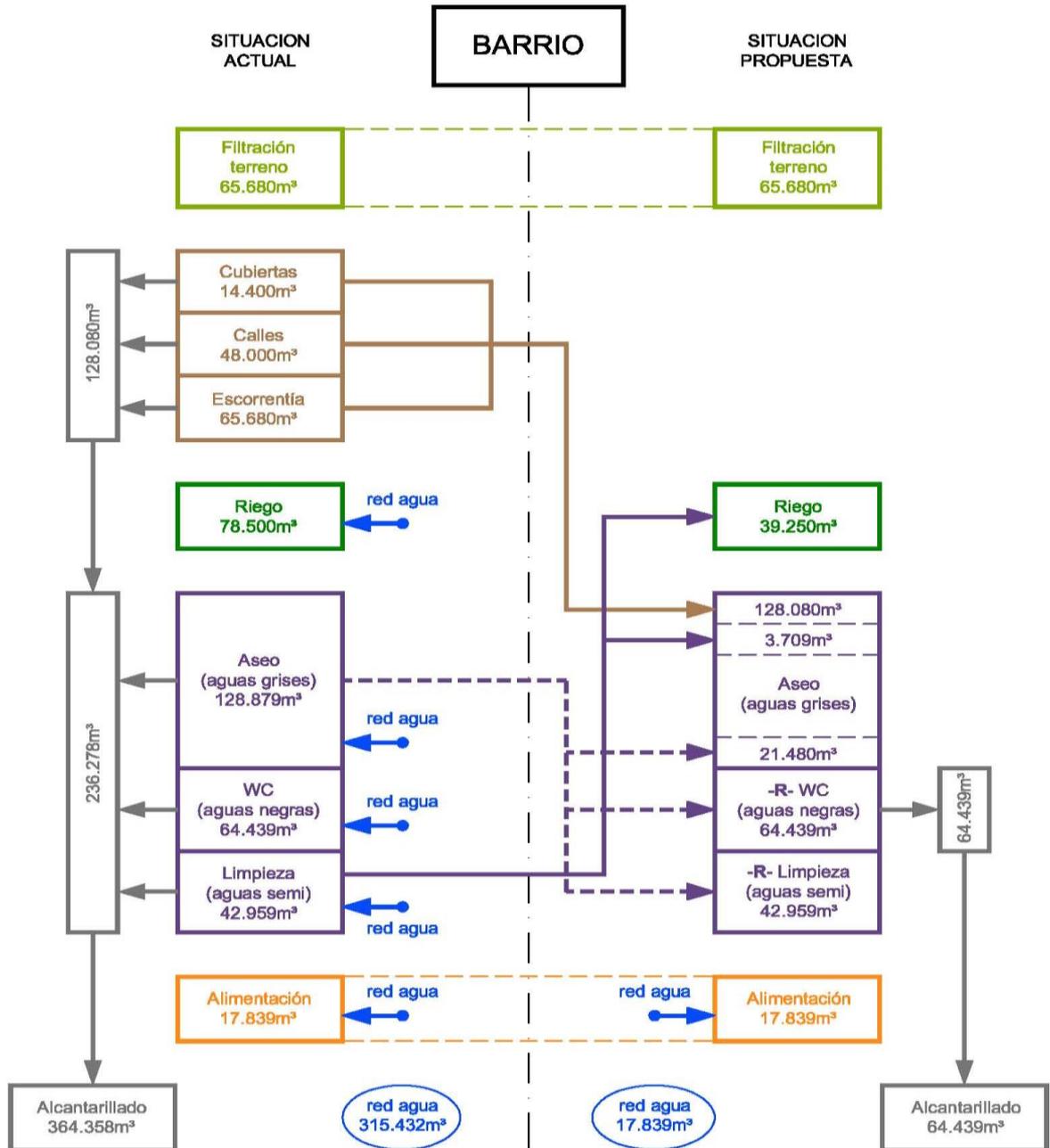
En paralelo se realizaron una serie de estanques de depuración experimentales para aguas fecales, y para las aguas grises y de reutilización sobre pavimentos drenantes (figura 9). Sobre estos estanques se realizaron diferentes pruebas para comprobar la respuesta de distintos sistemas de fitodepuración en fase de experimentación. Dado que la normativa no permite su reutilización (20), las aguas recicladas se vertieron de nuevo a la red municipal. Sin embargo, la experimentación demostró que las técnicas de fitodepuración conseguían una depuración de las aguas similar a las técnicas tradicionales de sedimentación o digestión en estanque.

Figura 9.: Pavimentos drenantes y zona de fitodepuración. Elaboración propia.



Estas experiencias a escala reducida son demostrativas de las posibilidades de una gestión del agua sostenible desde la intervención arquitectónica, un primer escalón para una gestión integral del agua en entornos urbanos. Se trataría de establecer un primer filtro, bien mediante sistemas de ahorro en el consumo (incluyendo ahorros propiamente dichos y reutilizaciones de aguas grises), bien mediante la depuración parcial de parte de las aguas residuales, bien mediante los sistemas separativos de tratamiento. Dichos ahorros se entienden significativos si la gestión de los mismos se extiende a un conjunto importante del parque edificado usando la escala de barrios de pequeño tamaño (figura 10).

Figura 10: Esquema de ahorros de agua en barrio de pequeño tamaño. Elaboración propia



RESULTADOS A CORTO Y MEDIO PLAZO, E IMPACTO DE LOS MISMOS.

El consumo de agua de una persona depende de muchísimos factores y evoluciona a lo largo del tiempo en función del desarrollo económico (21). Por ejemplo, en A Coruña (España) se ha pasado de 200 a más de 400 litros/habitante/día del año 1939 al 2003. Algunos autores apuestan por la reducción del consumo vía la subida del precio del agua (22).

Según los datos del Ministerio de Medio Ambiente de España (23) la media del consumo en España estaba en los 165 l/h/d en 2001, siendo el mínimo en Baleares con 124 l/h/d, y el máximo en ciertas partes de Cataluña con 184 l/h/d (24).

En los últimos años estamos asistiendo a una pequeña reducción en los consumos debido a las políticas de ahorro implantadas en el consumo doméstico. En el informe del Instituto Nacional de Estadística de 2018 tenemos un consumo de 133 litros persona/día frente a los 136 de 2016 (25).

Este consumo se distribuye de forma desigual por toda la geografía Española, con un mínimo de 104 litros/h/d en el País Vasco y un máximo de 175 litros en la comunidad Valenciana.

Usando las cifras medias, este consumo debería distinguirse el debido al realizado dentro del hogar y el utilizado para mantenimiento de jardines particulares, llegando según sus cifras a los 118 l/h/d para viviendas en altura sin jardín y a los 241 l/h/d de media para viviendas con jardín (26). Para ir un poco más allá en la definición de los consumos se puede establecer que unos 60 l/h/d serían para el aseo personal (aguas grises de fácil reciclaje), 20 l/h/d se usarán para la limpieza de ropa y vajillas (aguas semi negras con un proceso más elaborado de reciclaje), 30 l/h/d se emplearán para el uso del inodoro (aguas fecales que precisan un proceso complejo de limpieza), y el resto, 8 l/h/d se emplearán para alimentación (27).

Respecto del posible aprovechamiento del agua de lluvia, y usando las medias de la Agencia Meteorológica para la región de Madrid con unas precipitaciones medias de 390 litros/m² (390 mm/m²) anuales repartidas en unos 39 l/m² mensuales de septiembre a mayo y unos 15 l/m² mensuales de junio a agosto (datos medios de los últimos años).

Al efecto de poder visualizar los potenciales resultados de la aplicación de estas estrategias para la mejora de los sistemas hídricos en entornos urbanos, se han presentado las figuras 4, 6, y 10 con los gastos actuales y posible ahorros propuestos con esta metodología.

En la tabla 1 se hace un resumen de todos estos datos con los potenciales ahorros de agua, elaborado en base a los datos anteriores (28), y en relación a las tres escalas de actuación.

Tabla 1. Cuadro resumen datos de potenciales ahorros, según ejemplo en escala de actuación.

		Viv. Unifamiliar. (6 h.)	Ed. Viviendas (492 h.)	Barrio (5884 h.)
Situación actual	Consumo (m ³)	591	24.183	315.432
	Depuración (m ³)	416	21.526	364.358
Según propuesta	Consumo (m ³)	72	6.547	17.839
	Reducción	87.81%	72.29%	99,34%
	Depuración (m ³)	65	5.387	64.439
	Reducción	84,37%	74.97%	82.31%

Valga para observar el potencial efecto de estas estrategias, que se preveía que la demanda de agua aumentaría en un 55% a nivel mundial entre 2000 y 2050 (29). El aumento de la demanda provendrá de la industria (+ 400%), de la producción eléctrica (+ 140%) y del uso doméstico (+ 130%) así como de el aumento demográfico. El escenario de referencia proyecta que para 2050, 3.900 millones de personas, más del 40% de la población mundial viva en cuencas fluviales bajo condiciones severas de estrés hídrico. La potencialidad del ahorro mostrado se muestra como una medida óptima y necesaria.

Por tanto, con la aplicación de la metodología propuesta, en ámbitos controlados, se estima que se pueden obtener resultados directos sobre el espacio urbano, y sus infraestructuras, como los siguientes:

- Reducción de los consumos de agua potable canalizada (domésticos y comunitarios) por medio de una gestión eficaz del reaprovechamiento y reciclaje de aguas grises y pluviales (30).
- Identificación y uso de posibles tecnologías de tratamiento de aguas amigables con el medioambiente y de interés emergente. Disminución del gasto general de depuración por la reutilización de caudales desaprovechados.
- Mejora de las infraestructuras hidráulicas de las viviendas y disminución de las patologías constructivas derivadas, con la consecuente disminución de pérdidas en el suministro.
- Mantenimiento más eficiente y eficaz del riego de zonas verdes. Consecuente mejora de la calidad ambiental (31).
- Generación de espacios de ocio con carácter de mejora de sus parámetros micro climáticos, y generación de puntos de educación ambiental en huertos urbanos y cubiertas verdes comunales.
- Potencial aprovechamiento del calor residual para aumentar la eficiencia energética de la edificación y en el caso de las cubiertas verdes, mejorar el confort térmico de las viviendas (32).

Así mismo, se obtendrían resultados de aplicación en el ámbito científico:

- Elaboración de una guía para el aprovechamiento óptimo del recurso, a modo de protocolo de Gestión Integral del Agua en un entorno urbano local, conteniendo también metodologías para estimaciones económicas y propuestas para la vinculación del ciudadano al proyecto
- Elaboración de documento de propuestas específicas de aplicación para una zona estudiada, para su presentación al Ayuntamiento para su conocimiento y potencial puesta en marcha.
- Implementación de una Base de Datos, con la información relevante de la investigación que sirva como referencia para el resto de la comunidad científica.
- Elaboración de la documentación técnica específica de los sistemas individualizados que se hayan detectado como de mayor potencial de

aplicación, con la indicación de las particularidades de su aplicación tanto en el ámbito de estudio como para su extrapolación en otras localizaciones.

CONCLUSIONES

En esta investigación se propone una nueva metodología para la gestión de todo el proceso de uso y depuración de las aguas urbanas en un entorno urbano de pequeño tamaño de Alcalá de Henares, próxima a Madrid, en España.

Frente a los sistemas actuales basados en un suministro del 100% de agua potable y su vertido a la red fluvial una vez depurada junto con las aguas de lluvia, la gestión propuesta del agua es una gestión integral en la que se debe tener en cuenta todas las fuentes disponibles (agua de red, agua regenerada, agua de lluvia, aguas superficiales y subterráneas), los usos habituales (no todos ellos precisan agua potable), y nuevos usos en la ordenación urbana como, por ejemplo, la generación de microclimas en determinadas zonas.

Todo ello es factible en su implantación en las ciudades actuales, siempre que se planteen con una nueva filosofía de acción: la descentralización de los procesos. Este tipo de acciones, como se ha mostrado, permite la realización de inversiones controladas en ámbitos urbanos concretos y delimitados, de modo, que de forma progresiva se pueden obtener grandes resultados, en forma de beneficios medioambientales, de aprovechamiento del recurso especial que es el agua.

Una primera línea de actuación viene determinada por la gestión del agua realizada desde la escala arquitectónica, de modo que el edificio se convierte en un primer gestor del recurso hídrico, mediante la implementación de sistemas de ahorro y tratamiento que limitan o regulan tanto el nivel como la calidad del agua que pasa a los sistemas urbanos.

Finalmente, con la metodología de aplicación propuesta, se genera una posibilidad de obtención de información relevante con la implementación de una Base de Datos, que sirva como referencia para el resto de la comunidad científica, bien para su aplicación en otros barrios de similares características, o para poder continuar con su desarrollo y análisis de las diferencias con otras tipologías urbanas caso de detectarse.

REFERENCIAS

1. CASA MARTÍN, Fernando da, GARCÍA BODEGA, Andrés, ECHEVERRÍA VALIENTE, Ernesto y CELIS D'AMICO, Flavio, Relación de la ubicación de las poblaciones con el agua y el Clima en el entorno de la Comunidad de Madrid. *III congreso de ingeniería civil territorio y medio ambiente: Agua biodiversidad e ingeniería*, Zaragoza, 2006. p. 197.
2. CHÍAS NAVARRO, Pilar y ABAD BALBOA, Tomas, Los caminos y la construcción del territorio en Zamora. Catálogo de puentes. 2005, Instituto de Estudios Zamoranos Florián de Ocampo (CSIC) / CEHOPU (CEDEX). Zamora / Madrid.
3. GIVONI, Baruch, Man, climate and architecture. 1969, Ed. Elsevier.

4. DE LUXAN GARCÍA DE DIEGO, Margarita, ECHEVERRÍA VALIENTE, Ernesto, CELIS D' AMICO, Flavio, DA CASA MARTÍN, Fernando, *Arquitectura y Clima en Andalucía*, manual de diseño. 1997, Ed. Junta de Andalucía. p. 45-190.
5. SILVEIRA, Samuel João da, OLIVEIRA, Francisco Henrique, y SCHUCH Fernanda simoni, *Area verde mínima para loteamentos sustentáveis segundo o ciclo hidrológico* *Arquiteturarevista*. 2020. Vol 16 Nº1, p. 23-45.
<https://doi.org/10.4013/arg.2020.161.02>
6. FERNÁNDEZ TAPIA, Enrique. *Las galerías drenantes de Alcalá de Henares*, Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá. 2015.
7. CROSS, Hardy. Guest Speaker Inaugural session. *Proceedings of the Annual Meeting, Department of Civil Engineering*, 1945, Yale University, on Standardized Intelligence. USA.
8. Europe's water in figures. An overview of the European drinking water and waste water sectors. The European Federation of National Water Services 2017, Available from <http://www.eureau.org/resources/publications/1460-eureau-data-report-2017-1/file>
9. MARTINEZ-SANTOS, Pedro, ALDAYA, Maite, LLAMAS, Ramón, *Integrated Water Resources Management: State of the art and the way forward in Integrated Water Resources Management in the 21st Century: Revisiting the Paradigm*, 2014. Ed Martínez-Santos, Pedro; Aldaya, Maite; Llamas, Ramón, CRC Press/Balkema. Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-138-00143-5.
10. SMOL, Marzena, ADAM, Christian y PREISNER, Michael, *Circular economy model framework in the European water and wastewater sector*. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2020, N 22, p. 682-697
<https://doi.org/10.1007/s10163-019-00960-z>.
11. SMITH, Heather M., BROUWER, Stijn, JEFREY, Paul, y FRIJNS, Jos. Public responses to water reuse—understanding the evidence. *Journal of Environmental Management*, 2018, 207, p. 43-50.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.021>
12. Commission of European Communities, *Taking stock of the Europe 2020 strategy for smart, sustainable and inclusive growth*. 2014, Communication No. 130.
13. ECHEVERRÍA VALIENTE, Ernesto; CELIS D'AMICO, Flavio; DA CASA MARTÍN, Fernando, *A research tool for energy efficiency, the drawing*, In Carlos Marcos (eds) *Graphic Imprints*. 2019, Springer, Cham. p. 573-586.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-93749-6_46
14. NEVEROVA-DZIOPAK Elena, y PREISNER, Michael. *Analysis of methods for determination of conditions of municipal wastewater discharge into recipients in selected countries*, In *Ochrona Srodowiska*, 2015, 37, p. 3-9.
15. CASIANO FLORES, Cesar, BRESSERS, Hans, GUTIERREZ, Carina, y DE BOER, Cheryl. *Towards circular economy - a wastewater treatment perspective, the Presa Guadalupe case*, *Management Research Review*, 2018. Vol. 41 No. 5, p. 554-571. <https://doi.org/10.1108/MRR-02-2018-0056>
16. REIS, Prado Ricardo Abreu and ILHA, Marina Sangoi de Oliveira. *Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva*. *Ambiente Construído*. 2014. Vol.14, no.2, p.79-90. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212014000200006>.
17. PERALES MOMPALER, Sara. *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. 5ª Semana Temática de la Tribuna del Agua. 2008, Expo Zaragoza. Available from https://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/03/080717_Art-SUDS_ExpoZaragoza-5S_PME_v1.pdf
18. SANTOS, Pedro Tyaquicã da Silva, SANTOS, Sylvana Melo dos, MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima, COUTINHO, Artur Paiva, MOURA, Glawbber Spíndola Saraiva de and ANTONINO, Antônio Celso Dantas. *Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial*. *Ambiente Construído*. 2013. Vol.13, no.1, p.161-174.
<https://doi.org/10.1590/s1678-86212013000100011>

19. VARZANDEH, Sajad Mir y KORDMAHALE, Sina Baghbani, Turning wastewater (greywater) into electrical energy in buildings. *10th International Conference on Sustainable Energy Technologies*, 2011, İstanbul, Türkiye, p.4-7.
20. Commission of European Communities Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on minimum requirements for water reuse, 2018, (COM no. 337).
21. MIRAS ARAUJO, Jesús y REGO VEIGA, Gustavo, Red y crecimiento urbano: Los efectos de la expansión de A Coruña sobre el abastecimiento de agua, 1939-2003. *Boletín de la A.G. E.* 2004, n^o 37. p. 279-298.
22. SÁNCHEZ GARCÍA, Victoria y BLANCO JIMÉNEZ, Francisco José, El uso sostenible del agua en núcleos urbanos: las tarifas como herramienta de control del consumo. *Observatorio Medioambiental*, 2012, 15, p. 35-59.
https://doi.org/10.5209/rev_OBMD.2012.v15.40331
23. Ministerio de Medio Ambiente: Informe sobre la situación actual y evolución de los ingresos y tarifas de los servicios urbanos del agua. Grupo de Análisis Económico MMA, 2007.
24. VILLAR NAVASCUÉS, Rubén Alejandro, Factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Costa Blanca (2000-2014). *Papeles De Geografía*, 2017, (1), p. 82-100.
25. Ine.es/prensa/essa-2018.pdf, available from
https://www.ine.es/prensa/essa_2018.pdf
26. CUBILLO GONZÁLEZ, Francisco, MORENO RUEDA, Teresa y ORTEGA LES, Silvia, Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid. *Colección Cuadernos de I+D+i*. 2008, Canal de Isabel II, Madrid.
27. DE OREO, Willian B., MAYER, Peter, DZIEGIELEWSKI, Benedykt y KIEFER Jack. Residential End Uses of Water, Version 2. *Executive Report*, 2016, Water Research Foundation, American Water Works Association, United States of America, ISBN: 978-1-60573-236-7.
28. JAMIL, Rehan. Reduction in Fresh Water Consumption by Grey Water Reuse for Flushing and Irrigation: A Case Study of a Multistorey Hotel Building. *1st Conference on Sustainability in Civil Engineering*, 2019, Capital University of Science and Technology, Islamabad, Pakistan, p. 294.
29. LEFLIVE, Xavier. Contemporary responses to water management challenges en *Integrated Water Resources Management in the 21st Century: Revisiting the Paradigm*. 2014, Ed Martínez-Santos, Pedro; Aldaya, Maite; Llamas, Ramón, CRC Press/Balkema. Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-138-00143-5. p. 47-58.
30. AIT KADI, Mohamed, Integrated Water Resources Management (IWRM) en *Integrated Water Resources Management in the 21st Century: Revisiting the Paradigm*. 2014, Ed Martínez-Santos, Pedro; Aldaya, Maite; Llamas, Ramón, CRC Press/Balkema. Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-138-00143-5. p. 3-16.
31. GABARRÓ, Jordi, BATCHELLÍ, Laura, BALAGUER, María Dolores, PUIG, Sebastián y COLPRIM Jesús. Grey water treatment at a sports centre for reuse in irrigation: A case study. *Environmental Technology*, 2013, Vol. 34, No.11, p.1385-1392. <https://doi.org/10.1080/09593330.2012.750382>
32. CASTILLA PASCUAL, Francisco Javier, SERRANO CANTO, José Luis, ALFARO GONZÁLEZ, Jesús, PÉREZ ANDREU, Víctor, BAÑO NIEVA, Antonio y ESTIRADO OLET, Fernando, Participación en el proyecto Symbcity para la competición internacional Solar Decathlon 2014. En *Investigación y transferencia en la Escuela Politécnica de Cuenca*. 2015, Ed. Miguel Ángel López Guerrero, David Sanz Martínez y Ana María Torres Aranda. ISBN: 978-84-608-1482, p.4-5

Submetido: 30/12/2020
Aceito: 27/05/2021