

# CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

## Bluebloqs

Sistema circular para la gestión del  
agua de lluvia





**Autor Principal:** Antonio Gascó (DAMN-ETSIMFMN Universidad Politécnica de Madrid)

**Otros autores:** Jorge Adán Sánchez-Reséndiz (DCTA-ETSAM Universidad Politécnica de Madrid); Francesca Olivieri (DCTA-ETSAM Universidad Politécnica de Madrid); Daphne Hermosilla (DAMN-ETSIMFMN Universidad Politécnica de Madrid); Gema Ramírez-Pacheco (DCTA-ETSAM Universidad Politécnica de Madrid); José Ramón Aira Zunzunegui (DCTA-ETSAM Universidad Politécnica de Madrid); Lorenzo Olivieri (DCTA-ETSAM Universidad Politécnica de Madrid); César Bedoya Frutos (DCTA-ETSAM Universidad Politécnica de Madrid)

## BLUEBLOQS.

### Sistema circular para la gestión del agua de lluvia.

## RESUMEN

El rápido proceso de urbanización de las últimas décadas ha destacado que las zonas urbanas son particularmente vulnerables al cambio climático y a las pérdidas de biodiversidad, cuyas consecuencias afectan al bienestar y la salud de los ciudadanos. Varias de estas consecuencias están vinculadas a las perturbaciones del ciclo del agua, tales como picos de precipitaciones o períodos de sequía más largos. En este contexto, las ciudades europeas se enfrentan a fenómenos de inundaciones cada vez más intensos, frecuentes y de mayor duración. Los actuales sistemas de drenaje y abastecimiento centralizados de las zonas urbanas no están hechos para resistir a estos grandes cambios y, en la actualidad, es necesario sustituirlos por sistemas descentralizados, sostenibles y resilientes. El mayor obstáculo que impide esa sustitución es su gran coste, debido a la alta necesidad de mano de obra.

**“Bluebloqs circular water system”**, un proyecto de dos años de duración (2019-2020) financiado por el Instituto Europeo de Innovación y Tecnología (*EIT Climate-KIC*) pretende superar este reto. Se trata de una solución basada en la naturaleza que permite la gestión descentralizada del agua en las zonas urbanas, evitando las calles inundadas y garantizando la disponibilidad de agua dulce. De hecho, al recoger, tratar y almacenar localmente las aguas pluviales a través de un sistema circular integrado, Bluebloqs permite restablecer el ciclo natural del agua. El sistema puede aplicarse a nivel de edificios, propiedades o vecindarios, añadiendo vegetación a la infraestructura existente o realizando proyectos de rehabilitación urbana.

Para dar los primeros pasos hacia la demostración de la viabilidad de instalación de esta solución en toda Europa, prototipos funcionales del sistema *Bluebloqs* están siendo implantados en cuatro ciudades de tres zonas climáticas diferentes: *Spangen, Rotterdam*, y *Cromvlietpark, The Hague* (Países Bajos), *Aartselaar* (Bélgica), Madrid (España). La aplicación en espacios locales totalmente diferentes brinda la oportunidad de superar barreras sistémicas, como las sociales, burocráticas, tecnológicas y económicas. En el proyecto, liderado por la Universidad Tecnológica de Delft, están involucrados la Universidad Politécnica de Madrid, Aquafin y Field Factors. En Madrid el prototipo se instalará en el Parque de la Torre Caleido, gracias al acuerdo entre el Ayuntamiento, el Consorcio del proyecto y la Propiedad del **"Espacio Caleido"**.

*Bluebloqs* demuestra el potencial de las soluciones basadas en la naturaleza para acelerar la transición urbana hacia sistemas de gestión del agua sostenibles, respetuosos con el ciclo natural del agua y beneficiosos para los habitantes, las industrias y los ecosistemas de Europa.

## ANTECEDENTES

El cambio climático es un problema y desafío a escala mundial. Los intensos cambios que se han producido en el clima en las dos últimas décadas han derivado en los años más cálidos registrados hasta el momento y en un gran número de fenómenos meteorológicos extremos, cada vez más frecuentes, tanto en Europa como en el resto del mundo [1].

De proseguir con una tasa de emisiones de gases de efecto invernadero igual o superior a la actual, el calentamiento global del planeta aumentará, y el sistema climático sufrirá importantes e irreversibles cambios. A su vez, este aumento de temperatura deriva en la intensificación de fenómenos meteorológicos con un efecto devastador sobre múltiples ecosistemas. Esto se traducirá en enormes costes para las diferentes economías mundiales y provocará una merma significativa en la capacidad de producción de alimentos.

La escala de los impactos es incierta, pero ya resulta evidente que afectarán a los ciclos de agua, impulsando la escasez de agua dulce y aumentando el número de inundaciones, tormentas, olas de calor y sequías [1-2]. La mayoría de la población expuesta a estrés hídrico vive en países del sur de Europa [3]. En España se pronostica, de manera general, una reducción de recursos hídricos conforme avance el siglo XXI y un aumento de la escasez de agua, con sequías que tenderán a ser más frecuentes para los últimos periodos del siglo XXI [3-5].

A este hecho se le une el rápido proceso de urbanización de las últimas décadas, que ha dejado patente como las ciudades son particularmente vulnerables, con una capacidad muy limitada para adaptarse y recuperarse de los impactos derivados de esta situación. Nos encontramos con tramas urbanas poco resilientes para abordar el cambio climático y la superpoblación a los que se ven sometidas.

Existen múltiples evidencias de que se precisan políticas de mitigación y reducción del riesgo de desastres mediante la implementación de prácticas de desarrollo sostenible. La UE ha establecido un conjunto de objetivos muy ambiciosos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), acordando en 2014 un marco de actuación común en materia de clima y energía. Este marco de actuación contiene políticas para que la economía y el sistema energético de la UE sean más competitivos, seguros y sostenibles. No obstante, la Agencia Europea del Medio Ambiente establece en el informe SOER 2020 - *“El medio ambiente en Europa: Estado y perspectivas 2020”* - la urgencia de aprovechar la próxima década para ampliar y acelerar la puesta en marcha de medidas [6]. Como consecuencia, el Pacto Verde Europeo de la Comisión Europea describe el plan de acción para los próximos 5 años.

Conseguir **ciudades sostenibles**, respetuosas con el medio ambiente y que mantengan su funcionalidad ante una situación cambiante es un claro reto a conseguir. Dentro de este contexto, las infraestructuras y el equipamiento urbano de calidad son un evidente instrumento generador de valor y deben incorporarse como una línea estratégica de actuación para los tomadores de decisiones. Desarrollar infraestructuras urbanas sostenibles, resilientes y de calidad va ligado a la eficiencia en la gestión de recursos escasos y del rigor extremo en el control del endeudamiento público.

Este enfoque permite que las infraestructuras urbanas se conviertan en externalidades positivas de gran valor. Se precisan soluciones basadas en la naturaleza para acelerar la

transición urbana hacia sistemas de gestión del agua sostenibles, respetuosos con el ciclo natural del agua y beneficiosos para los habitantes, las industrias y los ecosistemas de Europa.

A escala urbana, los sistemas de drenaje y abastecimiento de agua se convierten en piezas clave para la regulación del ciclo del agua dentro de las ciudades. Los actuales sistemas urbanos de drenaje y abastecimiento centralizados no son capaces de adaptarse a los grandes cambios existentes y, en la actualidad, es necesario sustituirlos por sistemas descentralizados, más sostenibles y resilientes.

Los **sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)** son una infraestructura resiliente que reduce el impacto ambiental del ciclo de vida de estos sistemas, aportando beneficios económicos directos, como son unos menores costes de funcionamiento y mantenimiento, una depreciación más lenta y un valor de los activos más elevado. También se producen impactos sociales positivos, como la mejora de la salud y la productividad. Parecen evidentes los beneficios sociales y ambientales, así como los beneficios económicos a medio plazo derivados de implantar una infraestructura urbana sostenible.

El beneficio lo podemos equiparar a rentabilidad en términos de eficiencia económica. En 2011 se publicó por la UNEP (*United Nations Environment Programme*) el documento “*Green Economy. Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*”, [7] desarrollando el término “*Green Economy*”, clave por la agenda “Rio+20”, dentro del contexto de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS). Este proceso se basa en la cultura de la “economía circular”, posibilitando un nuevo escenario frente al modelo lineal tradicional.

## DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA BLUEBLOQS

Bluebloqs es una solución basada en la naturaleza cuyo objetivo es la gestión circular de las aguas pluviales en áreas urbanas. Diseñada para mitigar los impactos de las sequías e inundaciones, gracias a una gestión sostenible del agua de lluvia, permite la generación de reservas de agua dentro del tejido urbano de las ciudades.

El proyecto “**Bluebloqs circular water systems**” es un proyecto internacional financiado por el Instituto europeo de Innovación y Tecnología (EIT) Climate-KIC [8-9], dentro de la convocatoria “*Demonstrator*”. [10]

Bluebloqs es un sistema modular para el tratamiento, almacenamiento y reutilización del agua de lluvia. Por lo tanto, combina la **biofiltración de aguas pluviales** con tecnologías de almacenamiento de acuíferos para lograr altas eficiencias de tratamiento y recuperación. Como sistema integrado compacto, Bluebloqs utiliza procesos naturales de manera controlada, evitando la necesidad de grandes infraestructuras. Se trata, por lo tanto, de una solución innovadora para el suministro descentralizado de agua en áreas urbanas. El sistema requiere un uso mínimo de espacio, evitando conflictos con otras funciones: un sistema de biofiltración compacto se instala como elemento verde, y el agua purificada se almacena en los acuíferos en el subsuelo, desde donde se puede recuperar para diferentes aplicaciones urbanas.

Las técnicas innovadoras de biofiltración e infiltración profunda se combinan a través de un sistema integrado para la recolección, tratamiento, almacenamiento y reutilización de aguas pluviales. El funcionamiento del **sistema** se articula **en cuatro etapas** (figura 1):

- **Recolección y retención**

Consiste en la captación y almacenaje temporal de la escorrentía de aguas pluviales de superficies pavimentadas, como techos, calles y estacionamientos. En esta primera fase, el agua de escorrentía superficial que proviene de cubiertas carreteras y aparcamientos se recolecta y almacena de forma temporal en un jardín o estanque. En este paso de pretratamiento se eliminan las partículas grandes y los desechos. Al sistema se le puede, opcionalmente, integrar también un separador de aceite.

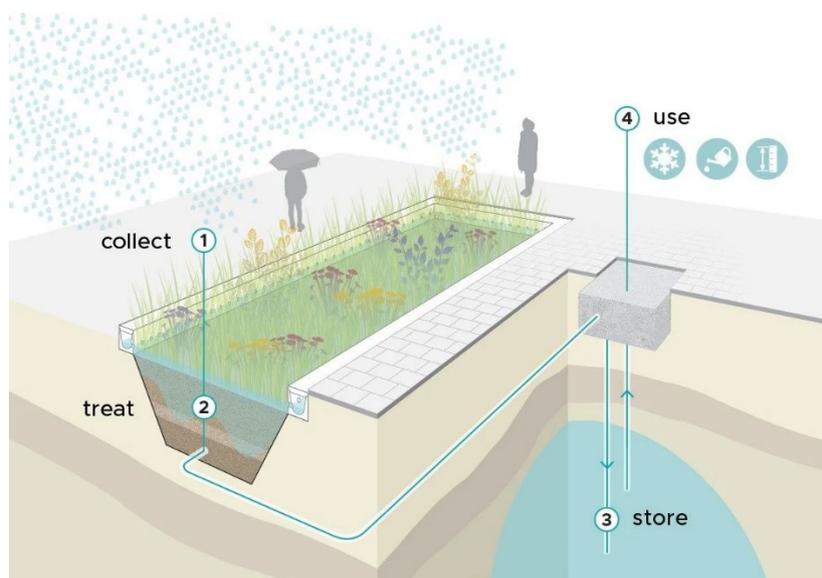


Figura 1. Representación esquemática del sistema Bluebloqs.  
(<https://www.circularwatersystems.eu/>) [11]

- **Tratamiento**

El tratamiento se realiza a través del biofiltro y se lleva a cabo mediante una combinación de filtración lenta en arena, degradación biológica y absorción de la planta. El biofiltro es muy eficiente para el tratamiento de metales, nutrientes, patógenos y contaminantes orgánicos.

- **Almacenamiento**

El agua tratada se almacena en capas de arena profundas en el subsuelo, a través de pozos de infiltración.

- **Reutilización**

Después del almacenamiento en el subsuelo, el agua filtrada se recupera y se utiliza para distintas funciones urbanas, como son el riego de espacios verdes, procesos industriales o estanques para el enfriamiento evaporativo.

## RESULTADOS OBTENIDOS HASTA EL MOMENTO

El proyecto se inició a mediados de 2019, con el objetivo de implementar su sistema en Holanda, Bélgica y España. Sin embargo, uno de los principales factores a superar para su final

implementación han sido las gestiones administrativas, ya que ninguno de los tres países tiene una **normativa diferente en relación a la gestión de agua pluviales**.

## Holanda

En Holanda, por ejemplo, el *Water Research Institute* (KWR, por sus siglas en holandés) ha colaborado con los investigadores de *TU Delft* desde el primer momento, orientando la estrategia sobre la cantidad y calidad de los tipos de ensayos necesarios para comprobar que el agua tratada por el biofiltro tiene la suficiente calidad para ser infiltrada y posteriormente reutilizada, algo que contempla y permite la normativa holandesa.

El primer prototipo instalado en el municipio de *Rotterdam* contó con el apoyo y colaboración tanto de los representantes del Ayuntamiento como de los dueños del equipo de fútbol local (*Sparta FC*), quienes buscaban solucionar un problema de inundaciones en *Spangen*, el barrio donde se encuentra dicho estadio (figuras 2 y 3).



**Figura 2.** Vista satelital del barrio *Spangen* (*Rotterdam*), donde se ha instalado el primer biofiltro Bluebloqs.

Con un volumen de retención de 1.400 m<sup>3</sup> y un biofiltro de purificación de 90 m<sup>3</sup>, el sistema ha sido capaz de captar, **tratar e infiltrar más de 30.000 m<sup>3</sup> de agua al año** y el club de fútbol ha reutilizado alrededor de 15.000 m<sup>3</sup> de agua por temporada. Tanto KWR como el Municipio de *Rotterdam*, han realizado las pruebas correspondientes para asegurar que el sistema logre alcanzar una calidad del agua suficiente para ser infiltrada para recargar el acuífero.

En el caso del prototipo que se instalará en La Haya, el municipio quiere retener el agua localmente, generando así reservas dentro del tejido urbano, y el biofiltro Bluebloqs servirá para purificar y reutilizar agua de lluvia, dando servicio a una granja urbana y a jardines comunitarios en el parque *Cromvliet* (figura 4).

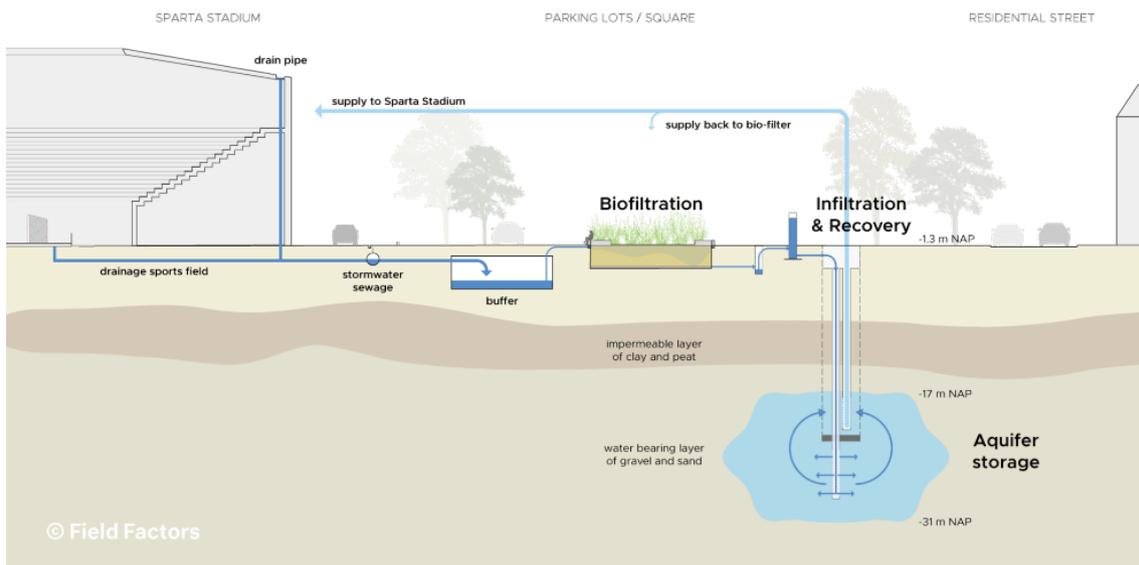


Figura 3. Representación esquemática del primer prototipo del sistema Bluebloqs, que fue instalado en el “Sparta Stadium” de Spangen, Rotterdam, Holanda. (<https://www.circularwatersystems.eu/>) [11]

La configuración del sistema en el parque *Cromvliet* servirá para asegurar la **disponibilidad de agua dulce durante todo el año, utilizando un afluente combinado** de agua de lluvia y agua superficial del *Noordpolder* (red de aguas del Municipio). No se tienen datos de funcionamiento de este prototipo, ya que, debido a la pandemia ocasionada por la COVID-19, la inauguración del sistema se ha pospuesto hasta enero de 2021.



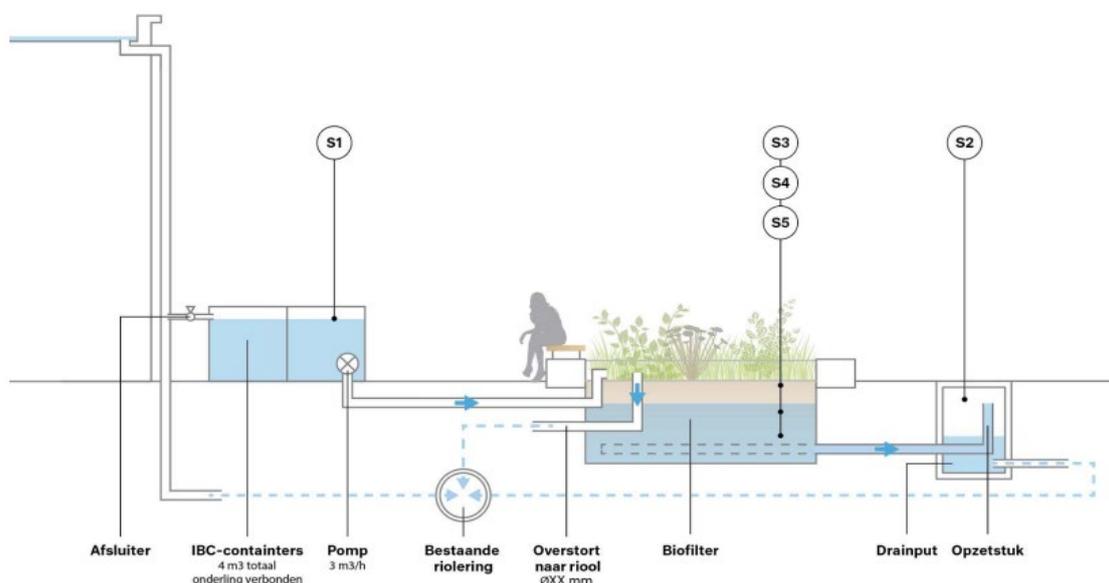
Figura 4. Esquema sobre el funcionamiento del sistema Bluebloqs que será instalado en el parque *Cromvliet*, en La Haya (<https://www.circularwatersystems.eu/>) [11]

## Bélgica

En Bélgica, el proyecto ha tenido también el respaldo de *Aquafin*, que es el instituto en Flandes que se dedica a la recolección y tratamiento de las aguas residuales. Sin embargo, al contrario de lo que pasa en Holanda, Bélgica tiene una normativa mucho más restrictiva respecto a la infiltración de aguas tratadas a los acuíferos. Este motivo ha generado que el proyecto Demostrador se haya construido en las instalaciones de este organismo, de manera que fueran ellos quienes controlaran la cantidad y tipo de composición del agua que se vertía sobre el biofiltro, con el objetivo de obtener así unos **valores de referencia sobre la eficiencia del sistema**.

El diseño del sistema *Bluebloqs* en *Aarstelaar*, Bélgica fue generado por *Aquafin*, *TU Delft* y *Field Factors* [12] y se presenta en la figura 5. Este prototipo se alimenta del agua recolectada de la cubierta de un edificio con 220 m<sup>2</sup> de superficie, que posteriormente se conecta con un depósito de agua de 4 m<sup>3</sup>. Complementariamente se utiliza una bomba peristáltica con un caudal de 0,5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> para transferir el agua de lluvia a un biofiltro de 9 m<sup>2</sup> de superficie. El agua de lluvia se distribuye sobre la superficie del biofiltro mediante tubos perforados. Un tubo de desbordamiento en el interior del biofiltro evita inundaciones en caso de bloqueo del filtro.

Las **concentraciones de metales pesados** en el perfil de profundidad del biofiltro resultaron menos claras. En general, el contenido de níquel, cadmio, cobre y zinc disminuyeron gradualmente desde la capa superior a 55 cm de profundidad; mientras que las concentraciones de plomo cayeron inmediatamente en los 5 cm superiores del biofiltro.



**Figura 5.** Vista general frontal del diseño de la configuración Bluebloqs para la DEMO en *Aarstelaar* (<https://www.circularwatersystems.eu/>) [11]

Después de las primeras tres semanas de operación, las concentraciones de efluentes de plomo, cobre, cadmio y zinc estuvieron por encima de las concentraciones de afluente (tabla 1). Solo las concentraciones de níquel fueron menores en el efluente en comparación con el afluente. Los resultados de las siguientes cuatro rondas de muestreo (semana 4-15 de

operación) mostraron concentraciones de efluentes de metales pesados más bajas en comparación con las concentraciones de los afluentes.

**Cuadro 1.** Resultados de los primeros ensayos sobre la eficiencia del sistema para tratar metales pesados en efluentes en comparación con los afluentes.

|  | <b>Ciclo A</b><br>(8/8/19)<br>RE [%] | <b>Ciclo B</b><br>(29/8/19)<br>RE [%] | <b>Ciclo C</b><br>(17/9/19)<br>RE [%] | <b>Ciclo D</b><br>(10/10/19)<br>RE [%] | <b>Ciclo E</b><br>(4/11/19)<br>RE [%] |
|--|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
| <b>Arsénico</b><br>( $\mu\text{g L}^{-1}$ )  | =                                    | -19.2                                 | -50.6                                 | -50.6                                  | -2                                    |
| <b>Cadmio</b><br>( $\mu\text{g L}^{-1}$ )    | -2190.5                              | 97.5                                  | 99.5                                  | 96.6                                   | 75.3                                  |
| <b>Cobre</b><br>( $\mu\text{g L}^{-1}$ )     | -45.3                                | 86.9                                  | 97.7                                  | 95.7                                   | 83.9                                  |
| <b>Plomo</b><br>( $\mu\text{g L}^{-1}$ )     | -1409.1                              | 98.5                                  | 99.2                                  | 99.7                                   | 99                                    |
| <b>Níquel</b><br>( $\mu\text{g L}^{-1}$ )    | 40.2                                 | 69                                    | 93.8                                  | 78.8                                   | 42.2                                  |
| <b>Zinc</b><br>( $\mu\text{g L}^{-1}$ )      | -192                                 | n.d.                                  | n.d.                                  | n.d.                                   | 83.8                                  |
| <b>Molibdeno</b><br>( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) | -1.3                                 | -                                     | 14.6                                  | 52.1                                   | -8.9                                  |

## España

Finalmente, la normativa existente en España no contempla la infiltración directa de aguas tratadas, ni tampoco la reutilización del agua directamente desde el acuífero, por lo que el proyecto Demostrador se apoyará en la implementación de un estanque donde se recirculará el agua. Se implementará un prototipo funcional del sistema Bluebloqs para recolectar, tratar, almacenar y reutilizar la escorrentía de agua de lluvia. El agua almacenada se utilizará como alternativa al agua potable para llenar el estanque ornamental del parque, lo que permitirá probar el rendimiento de la tecnología Bluebloqs en la **zona climática mediterránea - semiárida** de Madrid.

Los objetivos en este sitio son evaluar el desempeño del tratamiento del Biofiltro Bluebloqs para la reutilización del agua de lluvia, de acuerdo con los estándares de la regulación local y probar el desempeño del Biofiltro Bluebloqs en diferentes regímenes operativos y condiciones climáticas a las otras demostraciones.

De la misma forma que la COVID-19 ha impactado en el desarrollo planificado de la demostración diseñada para *Cromvlietpark*, el prototipo desarrollado para el Parque Caleido de Madrid ha tenido grandes retrasos y se prevé tener el sistema en funcionamiento para

finales del primer trimestre de 2021, lo que permitirá completar la monitorización de estos sistemas en las distintas condiciones geográficas, climáticas y normativas contempladas en este proyecto.



**Figura 6.** Estanque de agua que servirá para recircular el agua del biofiltro Bluebloqs en el parque Caleido de Madrid.

## DISCUSIÓN SOBRE LA REPLICABILIDAD DE LA TECNOLOGÍA EN EUROPA Y EL MUNDO

Debido al escenario actual de cambio climático, hay una preocupación cada vez mayor sobre los fenómenos asociados a lluvias torrenciales e inundaciones y a los cada vez más habituales fenómenos de escasez de agua que, en las ciudades, podrían ser mitigados gracias a la utilización de SUDS y al desarrollo de tecnología para la reutilización del agua de lluvia. Actualmente, **las ciudades deben ser concebidas para infiltrar, retener, almacenar, tratar y reutilizar el agua de lluvia** en la mayor medida posible [13], respetando los equilibrios naturales del ciclo del agua.

Los cuatro emplazamientos elegidos para la construcción de los prototipos *Bluebloqs*, así como los problemas que se pretenden corregir y los objetivos que se esperan alcanzar, se presentan como solución a un abanico de necesidades que actualmente se deben satisfacer en muchas ciudades [14]. De este modo, en *Spangen (Rotterdam, Holanda)* se quiere amortiguar la incapacidad del sistema de alcantarillado existente para evacuar las aguas torrenciales, cada vez más frecuentes debido al fenómeno del cambio climático, habilitando una vía más de evacuación que actúe como complemento del sistema de drenaje principal; mientras en *Cromvliet (La Haya, Holanda)* se pretende parar el proceso de subsidencia de la infraestructura urbana causado por la bajada del nivel freático y su consecuente falta de presión sobre el terreno de la superficie. Por otro lado, en *Aartselaar (Bélgica)* se busca una solución sostenible

para la gestión del agua de lluvia local y explorar posibles vías de utilización. Finalmente, en Madrid (España) el objetivo consiste en analizar las potencialidades del agua filtrada en relación a su calidad con vistas a su reutilización para el riego de zonas verdes, o incluso se podría contemplar para la recarga de acuíferos por infiltración si la normativa lo permitiese.

Tal y como ha quedado ya descrito, la utilización de SUDS permite retener más de un 50% del agua de lluvia y reducir la escorrentía [14]. Por ejemplo, la utilización de tejados verdes en Bolonia (Italia) permitió retener aproximadamente un 52% de agua de lluvia [15], y del 70-90% en Wroclaw (Polonia) [16]. En Dinamarca se redujo la escorrentía respecto a un tejado tradicional en un 43-68% [17]. Por otra parte, los pavimentos permeables han permitido absorber totalmente el agua de lluvia en distintas aplicaciones en Granada (España) [18] y en Holanda [19], así como se estima que redujo la escorrentía en un 40-50% en Finlandia [20].

Los beneficios del sistema son evidentes a nivel de gestión del régimen pluvial, tanto en fenómenos de avenidas, como de escasez de agua. Asimismo, la utilización del agua de lluvia para el riego de parques y jardines contribuye al incremento del efecto sumidero de CO<sub>2</sub> que ejercen las propias plantas al incorporar el carbono en sus tejidos vegetales, si se aumenta la superficie con plantas o se consigue un crecimiento más rápido y vigoroso. Además, el agua se puede reutilizar para diferentes usos, como el riego de parques y jardines, que muchas veces se ve comprometido en países semiáridos como España, o, dependiendo su calidad y si la legislación lo permite, también para el riego de huertos urbanos comunitarios, favoreciendo el consumo de proximidad. En localidades con problemas de abastecimiento de agua potable sería interesante estudiar las implementaciones que necesita el sistema para poder utilizar las aguas pluviales para uso directo incluso como agua de consumo humano, o para recarga de acuíferos o embalses de agua.

Al tratarse de una solución basada en la naturaleza, el sistema *Bluebloqs* encaja perfectamente como medida para hacer las **ciudades más resilientes frente a los efectos del cambio climático**, actuando directamente sobre la gestión del agua en general y, más concretamente, sobre la gestión de las aguas pluviales. Las múltiples aplicaciones del sistema, así como su flexibilidad para adaptarse a distintas situaciones, posibilitan su utilización tanto a pequeña escala como a gran escala, pudiéndose adaptar a casi cualquier tipo de circunstancia. Sin embargo, su capacidad de implementación en otras localidades del mundo dependerá, como en otros SUDS, de la situación técnica particular de cada localización, urbanización, gestión de infraestructuras, clima, condiciones geológicas, etc. [12], así como de la voluntad política o la capacidad de financiación de este tipo de solución.

## CONCLUSIONES

- Se ha puesto de manifiesto la capacidad de adaptación del sistema *Bluebloqs* a distintas situaciones para proveer soluciones basadas en el aprovechamiento de aguas pluviales para distintos problemas, desde el reducir inundaciones a servir para regar o recargar acuíferos; así como a las distintas regulaciones sobre el potencial uso de aguas pluviales recuperadas.
- Se espera que los biofiltros instalados alcancen su etapa de madurez en los próximos meses, aumentando aún más la eficiencia del tratamiento para el caso de *Aartselaar* (Bélgica), y su puesta a punto en los casos de Madrid y La Haya.

- El tratamiento es insuficiente para cumplir con el estricto requisito de infiltración profunda en Flandes y, en particular, con respecto a los patógenos. Para Madrid no existe normativa de referencia y, por lo tanto, el agua tratada no puede ser infiltrada directamente al acuífero. La configuración del tiempo de retención del agua tratada debe ser suficiente para solventar la presencia de patógenos, hasta lograr una calidad de agua segura para su reutilización.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Agencia Europea del Medio Ambiente, AEMA (2017). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator based report. Publications Office of the European Union.
- [2] Lehner, B.; Czisch, G.; and Vassolo, S. (2005). The impact of global change on the hydropower potential of Europe: A model-based analysis. *Energy Policy* 33: 839- 855.
- [3] Agencia Estatal de Meteorología, AEMET (1995). Informe de España sobre el Cambio Climático. Convenio Marco sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas. Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- [4] Pascual, D.; Pla, E.; Lopez-Bustins, J.A.; Retana, J.; and Terradas, J. (2014). Impacts of climate change on water resources in the Mediterranean Basin a case study in Catalonia, Spain. *Hydrological Sciences Journal* 60(12): 2132-2147.
- [5] Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX (2017). Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España. Informe Técnico del Centro de Estudios Hidrográficos Clave del CEDEX 42-415-0-001. Centro de Publicaciones, Secretaria General Técnica del Ministerio de Fomento.
- [6] Agencia Europea del Medio Ambiente, AEMA (2019). The European environment - state and outlook 2020. Publications Office of the European Union.
- [7] United Nations Environment Programme, UNEP (2011). Towards a Green Economy. Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. United Nations Environment Programme.
- [8] <https://eit.europa.eu/>
- [9] <https://www.climate-kic.org/>
- [10] <https://www.climate-kic.org/programmes/research-innovation/demonstrator/>
- [11] <https://www.circularwatersystems.eu/>
- [12] <https://fieldfactors.com/>
- [13] Jia, H.; Wang, Z.; and Yu, S.L. (2016). Opportunity and challenge. China's sponge city plan. *Hydrolink* 4: 100–102.

- [14] Gimenez-Maranges, M.; Breuste, J.; and Hof, A. (2020). Sustainable drainage systems for transitioning to sustainable urban flood management in the European Union: A review. *Journal of Cleaner Production* 255: 120191.
- [15] Cipolla, S.S.; Maglionico, M.; and Stojkov, I. (2016). A long-term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM. *Ecological Engineering* 95: 876-887.
- [16] Burszta-Adamiak, E. and Mrowiec, M. (2013). Modelling of green roofs' hydrologic performance using EPA's SWMM. *Water Science and Technology* 68(1): 36-42.
- [17] Locatelli, L.; Mark, O.; Mikkelsen, P.S.; Arnbjerg-Nielsen, K.; Jensen, M.B.; and Binning, P.J. (2014). Modelling of green roof hydrological performance for urban drainage applications." *Journal of Hydrology* 519(PD): 3237-3248.
- [18] Rodríguez-Rojas, M.I.; Huertas-Fernández, F.; Moreno, B.; Martínez, G.; and Grindlay, A.L. (2018). A study of the application of permeable pavements as a sustainable technique for the mitigation of soil sealing in cities: A case study in the South of Spain. *Journal of Environmental Management* 205: 151-162.
- [19] Boogaard, F.; Lucke, T.; and Beecham, S. (2014). Effect of age of permeable pavements on their infiltration function." *CLEAN - Soil, Air, Water* 42(2): 146-152.
- [20] Jato-Espino, D.; Sillanpää, N.; Charlesworth, S.M.; and Andrés-Doménech, I. (2016). Coupling GIS with stormwater modelling for the location prioritization and hydrological simulation of permeable pavements in urban catchments. *Water (Switzerland)* 8(10).