

## INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SISTEMAS INTELIGENTES EN EL CICLO INTEGRAL DEL AGUA

Históricamente, la gestión del agua residual ha sido considerada como un sistema para alejar un problema “puramente urbano” mediante la recogida y transporte del agua residual desde los núcleos poblacionales hasta los medios receptores de la forma más rápida. El fin ha sido, principalmente, evitar problemas de salubridad e inundaciones en el núcleo poblacional donde, en el mejor de los casos, el agua residual pasaba por un proceso de depuración y, en el peor, se vertía directamente al medio. Pero esta situación ha cambiado y actualmente la gestión del drenaje urbano afronta retos importantes para minimizar su impacto medioambiental como herramienta fundamental para su protección.

Para afrontar esos retos, la aplicación de sistemas inteligentes y metodologías de inteligencia artificial (IA) se convierte en un factor fundamental de cambio y adaptación. A continuación, se exponen tres proyectos de aplicación de IA y sistemas inteligentes que se están llevando a cabo en Canal de Isabel II, así como un cuarto ejemplo de aplicación de IA al abastecimiento de agua de consumo.

### Sistema de ayuda a la inspección de colectores

Canal de Isabel II gestiona el ciclo integral del agua de la Comunidad de Madrid, lo que abarca desde la captación y tratamiento hasta la depuración y reutilización, dando servicio a unos 6,7 millones de habitantes. La gestión inteligente del agua residual se hace fundamental para optimizar los procesos y como ayuda a la toma de decisiones.

En Madrid se gestionan un total de 15.000 km de colectores que transportan agua residual hacia las EDAR (Estaciones de Depuración de Aguas Residuales). Las tareas de inspección y mantenimiento de la red se realizan de manera periódica para identificar las actuaciones correctivas necesarias, así como los tiempos óptimos de aplicación. De manera tradicional, las actividades orientadas a realizar la inspección consisten en recorrer la red mediante equipos remotos en la red no visitable, y una brigada de campo en el caso de los colectores visitables (un total de 2.400 km). En el primer caso se toman videos del recorrido, mientras que en el segundo se realizan fotografías de aquellos puntos donde se observa una posible necesidad de actuación.

Los datos recogidos son analizados posteriormente en gabinete de manera manual, estando el análisis sujeto a cierto grado de subjetividad debido a la interpretación personal de la interpretación de esas imágenes. Además, las tareas de inspección in situ en el caso de los colectores visitables suponen un factor de riesgo para los trabajadores que ejecutan dichas tareas debido a las condiciones habituales del entorno de trabajo (poca visibilidad, presencia de fango, posibilidad de caída a distintas alturas, posible presencia de gases nocivos...).

### Algoritmos de inteligencia artificial para interpretación de imágenes

Canal de Isabel II, a través de su colaboración con empresas especializadas (en el caso de este ejemplo con Inlocrobotics), ha iniciado la implementación de algoritmos de inteligencia artificial para la interpretación de las imágenes procedentes de las inspecciones de colectores tubulares que permiten realizar la diagnosis de la situación de las infraestructuras inspeccionadas de manera sistemática. El resultado de este análisis es posteriormente visado y asumido

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND SMART SYSTEMS IN THE INTEGRATED URBAN WATER CYCLE

Wastewater management has historically been considered as a system to eliminate a “purely urban” problem by collecting and conveying wastewater from population centres to the receiving waters as quickly as possible. The main aim has been to avoid health and flooding problems in the population centre where, in the best-case scenario, the wastewater underwent a treatment process and, in the worst-case scenario, was discharged directly into the environment. However, this situation has changed and urban drainage management must now address the important challenges of minimising environmental impact and becoming a key environmental protection tool.

The implementation of smart systems and artificial intelligence (AI) is a key factor in terms of change and adaptation when addressing these challenges. Three AI and smart system projects being carried out at Canal de Isabel II are presented below, as well as a fourth example of the application of AI to drinking water supply.

### Sewer Inspection Support System

Canal de Isabel II manages the integrated urban water cycle in the Madrid region, from collection and treatment to purification and reuse. It serves approximately 6.7 million people. Intelligent wastewater management is essential to optimise processes and aid decision-making.

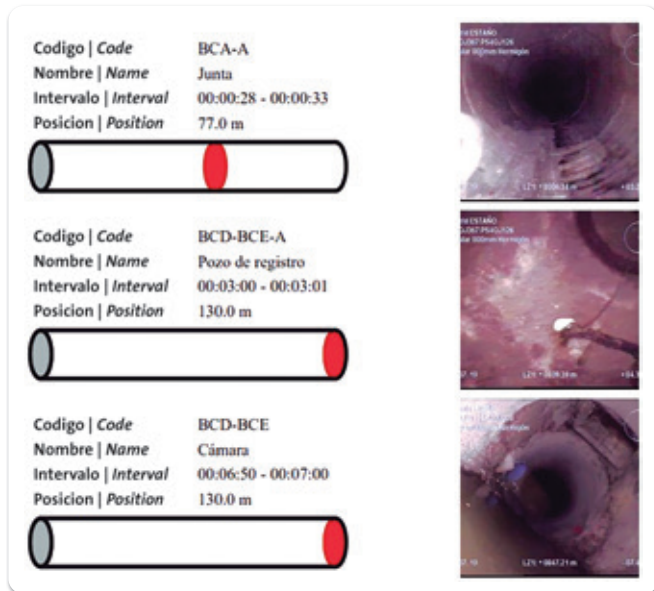
Madrid manages a total of 15,000 km of sewers that convey wastewater to the Wastewater Treatment Plants (WWTPs). Inspection and maintenance of the network is carried out periodically to identify corrective actions required and the optimum times for carrying out these actions. Traditionally, inspection activities have consisted of travelling around the network using remote equipment for inaccessible sections of the network, and a field team for accessible sections (a total of 2,400 km). In the first case, videos are taken of the route, while in the second, photographs are taken of points where there is a possible need for action.

The data collected are subsequently analysed manually in the office, with the analysis being subjective to a certain degree due to personal interpretations of these images. In addition, on-site inspection tasks in accessible sewers involve a risk factor for workers arising from the typical working conditions in this environment (poor visibility, presence of sludge, possibility of falling from different heights, possible presence of noxious gases...).

### Artificial intelligence algorithms for image interpretation

Canal de Isabel II, through its collaboration with specialised companies (in this case Inlocrobotics), has begun implementing artificial intelligence algorithms for the interpretation of sewer pipe inspection images. This facilitates systematic diagnosis of the status of infrastructures. The result of this analysis is subsequently ratified by the corresponding technical team, who are responsible for proposing the appropriate corrective or preventive measures.

The algorithm works with convolutional neural networks (using Deep Learning algorithms) and combines computer vision and mobile robotics with the learning of behavioural patterns. ▶



por los técnicos correspondientes, que son los encargados de proponer las medidas correctivas o preventivas adecuadas.

El algoritmo trabaja con redes convolucionales (con algoritmos de Deep Learning) y mezcla visión por computador y robótica móvil, aprendiendo patrones de comportamiento. Cada vez que se carga un video en la herramienta, los puntos se detectan categorizados en defectos estructurales o de reducción de capacidad hidráulica y se identifican a partir de unos ejemplos observados previamente.

Uno de los productos de la inspección son los informes, que indican:

1. Código de defecto
2. Descripción del defecto: presencia de sedimentos, juntas desplazadas, roturas, derrumbes, cambios en las secciones, otros.
3. Ubicación en el tramo del colector
4. Calificación de la condición estructural de la red ordenada por tramos del colector evaluado

La siguiente imagen ha sido extraída del informe de inspección de un colector gestionado por Canal de Isabel II:

El algoritmo recoge información que permite actualizar el inventario de la red y va aprendiendo o generando una base de datos para evaluar otras inspecciones en el futuro, ayudando en la priorización de las actuaciones preventivas de la red de alcantarillado y ahorrando costes significativos.

### Drones autónomos para la inspección de alcantarillados visitables

Para evitar los riesgos inherentes a las inspecciones de los colectores visitables y sistematizar la detección de problemas en los mismos, Canal está desarrollando drones de inspección donde la principal característica radica en que vuelen de forma autónoma, lo que reduciría al mínimo la presencia de personal en el interior de los colectores durante las inspecciones. Esta característica viene impuesta por la dificultad de volar un dron en un espacio muy reducido, bien desde la superficie, bien desde el interior. El sistema se basa en una flota de drones UAV (sistema de aeronaves no tripuladas) para la toma de datos durante toda la inspección, tras la que se analizarán los resultados obtenidos haciendo uso del algoritmo de IA descrito previamente. El objetivo del proyecto es variado, permitiendo conseguir las siguientes mejoras:

Each time a video is loaded into the tool, faults are detected, categorised into structural or hydraulic capacity reduction defects and identified based on previously observed examples.

One of the products of inspection are reports which indicate:

1. Fault code
2. Description of the fault: presence of sediment, joint displacements, cracks, collapse, changes in sections, other.
3. Location in the sewer section
4. Rating of the structural condition of the network in order of the sewer sections assessed.

The following image is taken from an inspection report on a sewer managed by Canal de Isabel II:

The algorithm collects information to enable updating of the network inventory and learns or generates a database to evaluate future inspections, thereby facilitating the prioritisation of preventive actions in the sewer network and enabling a significant reduction in costs.

### Autonomous drones for inspection of accessible sewers

In order to avoid the inherent risks associated with inspections of accessible sewers and to systematise the detection of problems, Canal de Isabel II is developing inspection drones that can fly autonomously. This will minimise the presence of personnel inside the sewers during inspection operations, which is a key requirement due to the difficulty of flying a drone in a very small space, either from the surface above or from inside the sewer. The system is based on a fleet of unmanned aerial vehicles (UAVs) or drones, which collect data throughout the inspection process. The results obtained are then analysed using the AI algorithm described above. This initiative has a number of different objectives and it will afford the following benefits:

- Guarantee the safety of operators
- Enable continuous, accurate data collection
- Systematise analysis of incidents detected

The final product will be a fleet of drones capable of planning and carrying out inspection tasks in accessible sewers, which are confined indoor spaces. These drones will be capable of flying in autopilot mode and making decisions during the flight without the input of operators in the sewer or on the surface. They will be equipped with physical protection against impacts and with obstacle detection and avoidance systems. The drones will also be equipped with additional elements to carry out data collection (lighting system, camera or video recorder, 3D mapping as it proceeds along the sewer), to ensure equipment recovery in the event of a drone failure and to ensure flight stability during the inspection operation. Of particular relevance are additional elements such as geopositioning systems, alarm systems, LED display signals and return home systems (which return the UAV to the inspection starting point in the event of failure).

A market study found that no commercially available equipment had all the required features, though many of the components sought were available separately or partially. For this reason, Canal de Isabel II is leading a Pre-commercial Procurement (PCP) procedure. This innovative process is made up of three remunerated phases in which companies compete to develop the drone with the required features. Product development confidentiality is ensured throughout the entire process. The product delivered at the end of each phase is evaluated on the basis of 28 pre-established technical and

- Garantizar la seguridad de los operarios
- Dar continuidad y precisión a la toma de datos
- Sistematizar el análisis de incidencias detectadas.

El producto final será una flota de drones capaz de planear y realizar tareas de inspección en colectores visitables, que son espacios interiores y confinados; y en modo autopiloto, siendo capaz de tomar decisiones durante el vuelo y sin la participación de un operario ni en colector ni en superficie. Por ello, el dron está equipado con protecciones físicas frente a golpes y con sistemas de detección y sorteo de obstáculos durante el vuelo. El dron está, además, dotado con elementos adicionales para realizar la toma de datos (sistema de iluminación, cámara o grabadora de vídeo, mapeo 3D durante el avance) y para garantizar la recuperación del equipo en caso de fallo y la estabilidad del vuelo durante la tarea de inspección. En este último caso, son especialmente relevantes los complementos para su geoposicionamiento, sistema de alarmas o señales led de visualización y sistema return home (vuelta al punto de partida en caso de fallo).

Un estudio de mercado detectó que no existía un equipo que cumpliera globalmente con las características buscadas, aunque gran parte de los complementos sí existían de manera separada o parcial. Por ello desde Canal de Isabel II se está liderando un procedimiento de Compra Pública Precomercial (CPP).

El proceso innovador está formado por tres fases remuneradas donde diversas empresas compiten para desarrollar el dron buscado, garantizando a lo largo de todas ellas la confidencialidad del producto desarrollado. El producto final entregado en cada fase es evaluado mediante 28 criterios técnicos y de funcionamiento, previamente establecidos en uno de los pliegos establecidos en el CPP.

Cualquier empresa dedicada a este tipo de proyectos tuvo la oportunidad de participar en el proceso. De las 7 propuestas iniciales, 5 pasaron a la Fase 1 (Fase de proyectos de detalle) y 3 a la Fase 2 (Fase de entorno simulado), donde se desarrolló el primer prototipo de dron. Actualmente el proyecto se encuentra en la Fase 3, donde dos empresas están desarrollando el prototipo de dron que será evaluado en entorno real. Hasta la fecha, no se pueden revelar detalles de la tecnología debido a que el proceso sigue activo.

Durante el desarrollo, el primer y principal reto ha sido la búsqueda de una navegación plenamente autónoma. El segundo, la compatibilidad o compromiso entre un ensamblado de componentes suficientes para realizar la función final de inspección, que es la toma de datos con estabilidad, y el vuelo seguro para la aeronave. Un factor relevante para todo lo anterior es la capacidad de las baterías para asegurar un tiempo de vuelo suficiente. Una vez que el dron sea operativo de manera permanente, los datos tomados serán analizados de manera objetiva mediante inteligencia artificial, ya sea con nube de puntos tomados o mediante videos grabados en campo durante el vuelo.

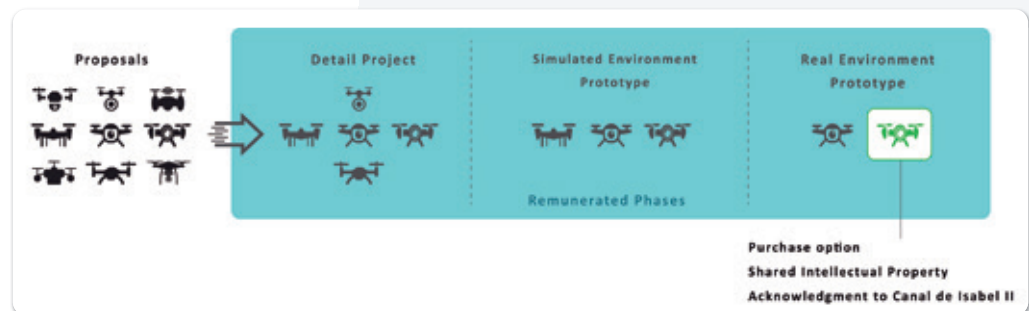


performance criteria set out in the Request for Proposal specifications.

The CPP procedure was open to all companies engaged in activities of this type. Of the seven initial proposals, five were selected to proceed to Phase 1 (Detailed design phase) and of these, three were selected to proceed to Phase 2 (Simulated environment phase), where the first drone prototype was developed. The procedure is currently in Phase 3, where two companies are developing the drone prototype to be evaluated in a

real environment. Because the procedure is still ongoing, details of the technology cannot yet be disclosed.

During development, the main challenges have been to achieve fully autonomous navigation and the compatibility needed in the assembly of components to enable inspection with stable data collection and safe UAV flight. And the capacity of the batteries to ensure sufficient flight time is of great relevance to overcoming both of these challenges.



Once the drone is operating full time, the data collected will be analysed in an objective manner using artificial intelligence, through the implementation of point clouds or videos recorded in the field during the flight.

### Integrated management of sanitation systems

Canal de Isabel II is also responsible for the integrated management of the sewerage network of the city of Madrid. The intelligent system implemented for this purpose will manage the sewerage network that discharges into the Manzanares River. It will implement quality and quantity parameters, as well as energy and environmental efficiency objectives.

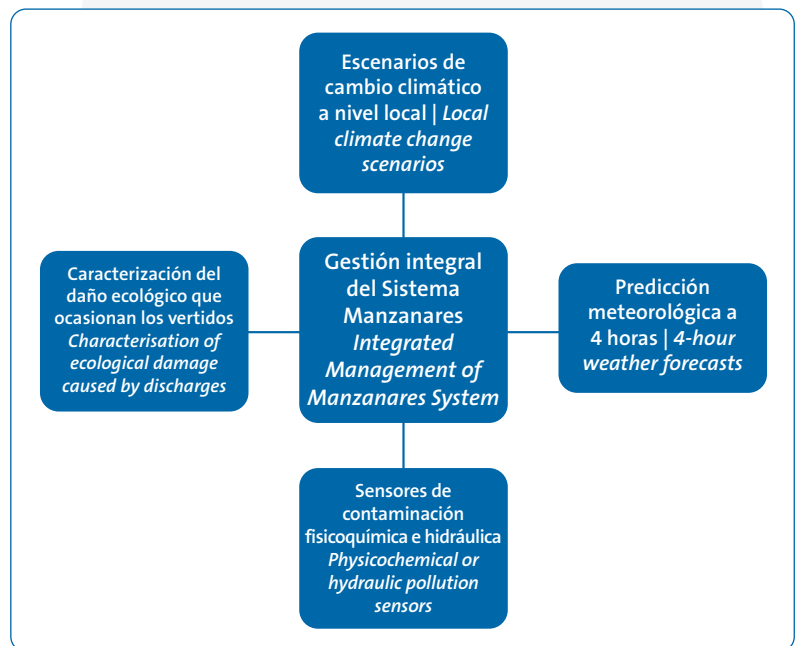
This system allows real-time information to be obtained on the phenomena, mainly severe rainfall events, that can cause a change in the hydraulic behaviour of the network, leading to uncontrolled discharges into receiving waters, network overloading, malfunctioning of WWTPs or surface flooding. Integrated management refers to two main elements: guaranteeing the hydraulic capacity of the network, ensuring that the levels of pollution discharged into the receiving waters or pollutant loads entering the treatment plant do not damage the environment, and ensuring that the WWTP itself has sufficient capacity to treat inflows without a reduction in treatment efficiency.

## Gestión integral de los sistemas de saneamiento

Canal de Isabel II también trabaja en la gestión integral de la red de saneamiento de la ciudad de Madrid. El sistema inteligente de Gestión Integrada del saneamiento de Madrid es una herramienta que gestionará la red de saneamiento de la cuenca que vierte al río Manzanares con parámetros de calidad y cantidad y objetivos de eficiencia tanto energética como medioambiental. Este sistema permite obtener información en tiempo real de aquellos fenómenos, principalmente eventos pluviométricos severos, que pueden provocar un cambio en el comportamiento hidráulico de la red llegando a causar vertidos descontrolados sobre el medio receptor, sobrecarga en la red, malfuncionamiento de la depuradora o inundaciones en superficie. La gestión integral hace referencia a dos elementos principales: garantizar la capacidad hidráulica de la red procurando que los niveles de contaminación vertidos al medio o que llegan a la depuradora no causen daños al medio y asegurar que la propia EDAR tiene capacidad suficiente para depurar los caudales influentes sin merma en su eficiencia.

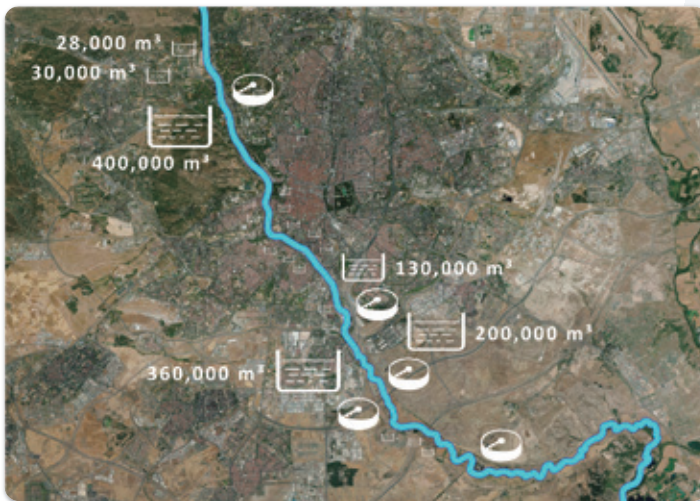
Hay diversos proyectos que orbitan alrededor de este sistema para poder dotarlo de información suficiente para su correcto funcionamiento:

1. Sistema de detección temprana de lluvias intensas fundamentado en el uso de radares meteorológicos de Canal de Isabel II. Cada radar cubre un radio de 65km, llegando a cubrir la práctica totalidad de Comunidad de Madrid, que junto con los pluviómetros existentes permiten pronosticar hasta con 4 horas de antelación la forma e intensidad aproximada del hietograma que va a ocurrir, así como la zona de ocurrencia.
2. Escenarios de cambio climático a nivel local. Canal de Isabel II cuenta con un estudio sobre eventos de cambio climático en relación con eventos severos sobre la Comunidad de Madrid, en el que se observa que todos los escenarios y horizontes futuros ocasionarán un incremento del pico del hietograma en el caso de las lluvias severas. Si se analiza el efecto que el cambio climático tendrá sobre la lluvia para un periodo de retorno de 10 años se observa que, como media entre los valores de los escenarios climáticos, el factor climático aumentará un 13% respecto de los valores actuales para el horizonte 2037-2068. Por lo tanto, el periodo de retorno para el que se diseñó una infraestructura llegará a reducirse.
3. Caracterización del daño ecológico sobre los medios receptores. En este estudio se han caracterizado las aguas residuales vertidas a los cauces naturales a través de aliviaderos. Para cada aliviadero se ha evaluado al menos un evento pluviométrico tras un largo periodo de tiempo seco y otro ocurrido entre dos lluvias consecutivas. Así se caracterizó la contaminación arrastrada por escorrentía superficial, limpieza de sedimentos acumulados en colectores y por vertido habitual de la población. De esta forma se han caracterizado los patrones de comportamiento de la población en día laborable y no laborable en términos de contaminación aportada por la cuenca, así como sobre todo el efecto de la contaminación superficial cuyos orígenes principales son el lavado de las calles, residuos sólidos urbanos, restos orgánicos y limpieza de las vías de transporte.
4. Caracterización del comportamiento de las cuencas urbanas que vierten al río Manzanares. Estos trabajos han servido para determinar el funcionamiento real de la red de drenaje urbano y, sobre todo, identificar aquellas operaciones que de manera global permitan una mejor gestión de la infraestructura, de tal manera que se evite vertido al medio o el colapso de la depuradora. El sistema de drenaje urbano que vierte al Manzanares cuenta con una infraestructura diversa (tanque de tormenta en línea y fuera de línea de diferentes tamaños y funciones, depuradoras en cascada, diversos bypass...) que permiten cierto grado de libertad en la gestión de los mismos.



A number of different projects support this system by providing it with sufficient information to ensure its correct functioning:

1. Early detection system for heavy rainfall based on the use of Canal de Isabel II weather surveillance radars. Each radar covers a radius of 65km, meaning that practically the entire Autonomous Community of Madrid is covered. Together with the existing rain gauges, these radars enable forecasts to be made up to 4 hours in advance of the approximate shape and intensity of the hyetograph and the area in which the heavy rainfall will occur.
2. Climate change scenarios at local level. Canal de Isabel II has carried out a study on the relationship between climate change events and severe weather events in the Autonomous Community of Madrid. In this study, it is observed that all future scenarios and horizons will result in cause an increase in the hyetograph peak in the case of severe rainfall. An analysis of the effect that climate change will have on rainfall for a return period of 10 years shows that, on average amongst climate scenario values, the hyetograph peak will increase by 13% with respect to the current values for the 2037-2068 horizon. Therefore, the return period for which an infrastructure is designed will become smaller.
3. Characterisation of ecological damage to receiving waters. In this study, wastewater discharged into natural watercourses through bypass spillways was characterised. For each spillway, at least one heavy rainfall event after a long period of dry weather was evaluated, along with another heavy rainfall event occurring between two consecutive rainfall events. This enabled the characterisation of the pollutants carried by surface runoff, pollutants from the cleaning of accumulated sediments in sewers and pollutants from normal discharges by the population. In this way, the behaviour patterns of the population on working and non-working days were characterised in terms of pollution of the river basin from the sewer system, as well as, above all, the effect of surface runoff pollution, which has its main origins in street cleaning, municipal solid waste, organic waste and the cleaning of transport routes.
4. Characterisation of the behaviour of urban sewers that discharge into the Manzanares River. This work has served to determine the real functioning of the urban drainage network and, above all, to identify those operations that allow enhanced global management of the infrastructure, in such a way as



De esta manera es posible, según el tipo de lluvia esperada, es posible promover una operativa adecuada de manera que no se dañe el medio ambiente ni se produzcan problemas de capacidad, ni tampoco se consuma energía de manera innecesaria.

Además, en la misma línea de este proyecto, se ha configurado un grupo de empresas para la presentación de un proyecto europeo tipo LIFE entre las que se encuentra Canal de Isabel II.

Los proyectos incluidos en el Programa LIFE poseen un acuerdo de cofinanciación y subvencionabilidad de los costes, siendo éste el único instrumento financiero de la Unión Europea dedicado, de forma exclusiva, al medio ambiente.

El objetivo principal del proyecto este proyecto LIFE es demostrar la validez de estrategias integradas a tiempo real en la red de drenaje urbano y las plantas de depuración de agua residuales, enfocados a minimizar no sólo la ocurrencia de las descargas de sistemas unitarios, sino también los volúmenes y las cargas de contaminación. Esto se llevaría a cabo mediante el uso y aplicación real de la metodología desarrollada en otro proyecto europeo (LIFE EFFIDRAIN).

### Inteligencia Artificial y patrones de consumo de agua

Además del uso de sistemas inteligentes en el agua residual, Canal de Isabel II también ha implementado inteligencia artificial en la gestión del agua potable. En concreto, se ha desarrollado una herramienta para optimizar la eficiencia en la gestión del servicio urbano de agua.

Canal de Isabel II viene llevando a cabo desde 2008 la monitorización de una muestra representativa y estable de cerca de 300 domicilios repartidos por toda la región. El objetivo que se persigue es conocer con minuciosidad cuál es el destino final del consumo de agua potable en estas viviendas, a través de la descomposición en sus componentes esenciales en cuanto a tipo de uso. Analizando la información recabada, puede darse respuesta a cuestiones concretas sobre el uso que las familias madrileñas dan al agua que se les suministra y los factores que determinan dicho uso. Mediante la instalación de contadores de elevada precisión y a partir de las lecturas registradas, pueden obtenerse con gran detalle de manera continua las curvas de consumo de caudal de cada domicilio. Con este histórico de pulsos, se puede restituir la serie temporal de caudal correspondiente al suministro de agua en cada hogar, para luego intentar distinguir en ella los consumos asociados al accionamiento de cada uno de los principales dispositivos y usos finales en un domicilio: grifos, cisternas, duchas, lavadoras, lavavajillas, riegos de exterior y existencia fugas.

Para poder reconocer el patrón de consumo de cada elemento en el histórico de registros de monitorización en continuo es necesario

to prevent discharges into the environment or the WWTP becoming overrun. The urban drainage system that discharges into the Manzanares has a diverse infrastructure (in-line and off-line stormwater tanks of different sizes and functions, WWTPs in the same line, bypasses, etc.) that affords a certain degree of flexibility in terms of their management.

Depending on the type of rainfall expected, it is possible to make appropriate operating decisions so as to prevent damage to the environment, capacity problems and unnecessary energy consumption.

In the same line as this project, a group of companies, including Canal de Isabel II, have come together to work on a project within the framework of the European LIFE Programme.

European LIFE projects are the subject of co-funding and cost subsidy agreements. The LIFE Programme is the only EU funding instrument dedicated exclusively to the environment.

The main objective of this LIFE project is to demonstrate the validity of real-time integrated strategies in urban sanitation networks and wastewater treatment plants to minimise not only the occurrence of separate sewer system discharges, but also volumes and pollutant loads. This will be done through the implementation of methodology developed in another European project (LIFE EFFIDRAIN) in a real environment.

### Artificial intelligence and water consumption patterns

In addition to the use of smart systems in wastewater, Canal de Isabel II has also implemented artificial intelligence in drinking water management. In this respect, a specific tool has been developed to optimise efficiency in the management of the urban water service.

Canal de Isabel II has been monitoring a representative and stable sample of around 300 households throughout the region since 2008. The aim is to acquire detailed knowledge of the final destination of drinking water consumption in these homes, through a breakdown of types of use. Analysis of the information collected can provide answers to specific questions about the use that Madrid households make of the water supplied to them and the factors that determine this use. The installation of highly accurate meters and recorded readings enables very detailed consumption curves to be obtained on a continuous basis for each household. Using historical readings, a time series of data for the consumption of each household can be created, thus facilitating differentiation of the consumption associated with the operation of each of the main devices and end uses in a home: taps, cisterns, showers, washing machines, dishwashers, and outdoor watering, as well as losses caused by leaks.

In order to be able to examine the consumption pattern of each element through the historical records provided by continuous monitoring, it is necessary to carry out preliminary inspection and calibration in each of the households in the sample. This consists of opening and closing the supply to each consumption element individually in an ordered sequence and recording the characteristics of the consumption curve. The shape of this curve is specific to each device and depends on the closing speed of the valves, the maximum flow rate, the duration of the episode, etc.

Based on prior study, an experienced operator can use the time series data of a given household to determine the use (or combination of uses) to which the different flow variations correspond.

realizar en cada uno de los hogares de la muestra un reconocimiento y calibración inicial, consistente en ejecutar una secuencia ordenada e individual de apertura y cierre de cada elemento de consumo y registrar las características de la traza que define el caudal consumido. La forma de esta curva es específica para cada dispositivo y depende de la velocidad de cierre de las válvulas, el caudal máximo, la duración del episodio, etc.

A partir de un trabajo previo, un operador experimentado es capaz de distinguir, sobre la serie temporal de un determinado hogar, a qué uso (o combinación de usos) corresponden las distintas variaciones de caudal que se pueden identificar.

Este trabajo de clasificación manual requiere una inversión en tiempo y capital humano que lo hacen inabordable a gran escala, circunstancia que sirvió de motivación para acometer la implementación de una herramienta informática capaz de abordar de manera automática el proceso completo de desagregación e identificación de usos finales.

Para lograr este cometido, la aplicación desarrollada ejecuta diferentes acciones:

- Transformación de la serie discreta de pulsos en una equivalente continua de caudal-tiempo.
- Sobre la serie anterior, depuración de los instantes de inicio y finalización de los distintos episodios de consumo que hayan tenido lugar.
- En los casos en los que se hayan producido usos solapados, desagregación de los episodios anteriores en unidades elementales de consumo correspondientes a un único uso doméstico.
- Caracterización de cada uno de los eventos de consumo mediante el cálculo de un total de 37 parámetros físicos que definen los rasgos identificativos del patrón de la curva de consumo y el uso al que corresponde (volumen, caudal medio y máximo, duración y gradiente de la rama ascendente y descendente, volumen y duración de episodios anteriores, etc.).

A modo de ejemplo, el siguiente gráfico ilustra el resultado de aplicar las acciones enumeradas:

Tras la identificación y caracterización de los eventos de consumo, una red neuronal desarrollada específicamente se encarga de su clasificación, asignándoles el uso doméstico final que corresponda.

Para conseguir un correcto desempeño en la labor de reconocimiento de patrones se utiliza un algoritmo de aprendizaje supervisado, partiendo de un conjunto de datos de entrenamiento previamente clasificados de manera manual. Sabiendo a priori cuál es el uso final de los eventos detectados en este periodo, la red neuronal se ajusta mediante un proceso iterativo, repitiendo el procesado de los datos de entrada de manera secuencial hasta conseguir minimizar el error cometido en la asignación de usos. Después de este calibrado, cuando en su funcionamiento normal se le presente un patrón de entrada arbitrario, la red neuronal responderá con una salida activa si la entrada presenta un patrón semejante a los que se han aprendido durante su entrenamiento.

Gracias a un mayor conocimiento sobre el consumo que se hace de este recurso, se podrán llevar a cabo:

- acciones dirigidas a mejorar los criterios y estándares de servicio del sistema de abastecimiento,
- acciones destinadas a identificar el potencial de ahorro en el consumo,
- modificaciones en aquellas pautas de comportamiento que no favorezcan el consumo responsable. ■

This manual classification work requires an investment in time and human capital that makes it impractical to carry out on a large scale, which is why it was decided to embark on a project to develop a computer tool capable of automatically undertaking the complete process of disaggregation and identification of end uses.

To achieve this the application developed executes the following actions:

- Conversion of the discrete pulse output series into an equivalent continuous flow time series.
- Using the series obtained, determination and ordering of start and end times of the different consumption episodes.
- In cases where overlapping uses have occurred, breaking these consumption episodes down into elementary consumption units corresponding to a single domestic use.
- Characterisation of each of the consumption events by calculating a total of 37 physical parameters that define the identifying features of the consumption curve pattern and the use to which it corresponds (volume, average and maximum flow, duration, slopes of ascending and descending sections of the curve, and duration of previous episodes, etc.).

By way of example, the graph shows the result of applying the actions outlined above:

Subsequent to the identification and characterisation of the consumption events, a specifically developed neural network classifies these events and assigns them to the appropriate household end-use.

In order to achieve correct performance in pattern recognition, a supervised learning algorithm is used, starting from a set of manually pre-classified training data. With prior knowledge of the end-use of the consumption events detected in this period, the neural network is adjusted by means of an iterative process, repeating the processing of the input data sequentially until the error in the assignment of uses is minimised. After this calibration, when presented with an arbitrary input pattern in normal operation, the neural network will respond with an active output if the input presents a pattern similar to those learned during training.

The enhanced knowledge of consumption provided by this resource facilitates:

- actions aimed at improving supply system criteria and service standards
- actions aimed at identifying the potential for savings in consumption
- changes in behaviour patterns that are not conducive to responsible consumption ■



**Antonio Lastra de la Rubia**

coordinación de innovación en redes.  
Subdirección de I+D+i, Canal de Isabel II  
Coordination of network innovation.  
Sub-directorate of R&D&i, Canal de Isabel II