

# ESTUDIO SOBRE EL PAPEL DE LA DIGITALIZACIÓN Y EL MACHINE LEARNING EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA COMUNITAT VALENCIANA

---

Francesc Hernandez Sancho

---



Càtedra de  
Transformació del  
Model Econòmic  
Economia Circular  
en el Sector de l'Aigua



Xarxa  
Càtedres de  
Transformació  
del Model Econòmic



GENERALITAT  
VALENCIANA  
Conselleria d'Hisenda  
i Model Econòmic



UNIVERSITAT  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



UJI UNIVERSITAT  
JAUME I



UNIVERSITAS  
Miguel Hernández

## INDICE

INDICE .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	2
2. PACTO VERDE EUROPEO. ....	3
3. HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR Y DIGITAL EN EL SECTOR DEL AGUA .....	4
4. LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES.....	6
4.1. OPORTUNIDADES DE LA DIGITALIZACIÓN.....	9
4.2. BARRERAS DE ACCESO DE LA DIGITALIZACIÓN. ....	11
5. LA DIGITALIZACIÓN EN EL SECTOR DEL AGUA .....	13
5.1. POTENCIALIDAD DE LA DIGITALIZACIÓN.....	16
5.1.1. CAPTACIÓN Y POTABILIZACIÓN .....	18
5.1.2. DISTRIBUCIÓN .....	20
5.1.3. SANEAMIENTO .....	21
5.1.4. DEPURACIÓN .....	22
5.1.5. REUTILIZACIÓN .....	26
6. CONCLUSIONES .....	29
7. REFERENCIAS .....	31

## Ilustraciones

<i>Ilustración 1 4 R de la economía circular.....</i>	<i>5</i>
<i>Ilustración 2 Tecnologías digitales.....</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 3 Digital Economy and Society Index, 2021 Fte: DESI 2021, European Commission.....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 4 Ciclo Urbano del Agua.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 5 Digitalización y economía circular. ....</i>	<i>16</i>

## Tablas

<i>Tabla 1 Barreras de proceso por clasificadas y tipos. Nota. De Barriers for the digitalization of servitization, Marcon, E. et al., 2019, CIRP, 83, 254-259).....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 2 Infraestructuras del ciclo urbano del agua en España (tipo). ....</i>	<i>15</i>

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cambios tecnológicos de los últimos años han generado múltiples oportunidades económicas, sociales y ambientales. Los distintos sectores económicos han conseguido una mayor flexibilidad e individualización de los productos/servicios y un mayor control de los procesos de fabricación y distribución. Este cambio tecnológico también presenta desafíos relacionados con la inversión necesaria para adaptarse al cambio, las adaptaciones legales en materia de seguridad y privacidad, así como tecnológicos, asegurando la disponibilidad de los datos e información. En este sentido se perciben numerosas oportunidades tecnológicas nuevas, por lo que son necesarias herramientas que ayuden a implementar los beneficios que representa el uso de las tecnologías de información en distintas áreas, tales como el empleo, los salarios, la salud, la seguridad y eficiencia de los recursos (Lerch y Gotsch, 2015). Sin embargo, la implementación de las nuevas tecnologías supone un reto debido al proceso de adaptación que debe hacer la sociedad en su conjunto con tal de aprovechar las múltiples ventajas que genera (Loebbecke y Picot, 2015; Paulus-Rohmer et al., 2016; Bouwman et al., 2017).

Hablar de cambios tecnológicos implica hacer referencia al concepto de digitalización. Entendemos por digitalización el proceso de conversión de datos analógicos a digitales (Brennen y Kreiss, 2016). Además, el uso de tecnologías para esta transformación digital implica explorar plataformas y modelos de negocio utilizando tecnologías, dispositivos o técnicas digitales. Desde monitorizar los sistemas de producción y simplificar los procesos empresariales hasta mejorar los sistemas de seguridad en las transacciones, infraestructuras y economía, por nombrar algunos. La transformación digital permite reestructurar las economías, las instituciones y la sociedad a nivel de sistema (Unruh y Kiron, 2017), este último, abarca cambios en todos los niveles sociales. Además, la digitalización permite la combinación de diferentes tecnologías, ofreciendo posibilidades para crear nuevos productos y servicios (Matzler et al., 2016), así como incrementar la eficiencia en los procesos actuales, aumentando de este modo la sostenibilidad del modelo económico.

Los beneficios de la digitalización al sistema económico actual se enmarcan como eje vertebrador para el cambio del modelo económico, la conectividad que ofrece la digitalización permite a las empresas crear sistemas más eficaces y eficientes, generando de este modo mayores ventajas competitivas. A su vez, la existencia de grandes volúmenes de datos permite analizar con detalle los impactos tanto locales como globales que genera el consumo de productos o servicios, generando en última instancia una mayor información. En este sentido, su posterior procesamiento e interpretación permite una mejor comprensión, aunando distintas perspectivas; social, económica y ambiental.

## 2. PACTO VERDE EUROPEO.

La Comisión Europea adoptó en 2020 un nuevo Plan de acción para la economía circular (European Commission, 2019). El Pacto Verde Europeo es una herramienta continental de lucha contra el cambio climático, que pretende que Europa sea, en 2050, el primer continente climáticamente neutro. Con tal de apostar por un crecimiento sostenible, propone medidas a lo largo de todo el ciclo de vida de los productos, el nuevo Plan de acción tiene por objeto adaptar nuestra economía a un futuro ecológico y reforzar nuestra competitividad, protegiendo al mismo tiempo el medio ambiente y confiriendo nuevos derechos a los consumidores.

Para ello, desde la Comisión Europea se ha lanzado este gran acuerdo que busca una economía limpia, con cero emisiones, y proteger nuestro hábitat natural. El Pacto Verde aboga por articular un sector digital en torno a la sostenibilidad y el crecimiento ecológico. Destaca específicamente que la digitalización es una herramienta clave para conseguir los ambiciosos objetivos de sostenibilidad en los diferentes sectores industriales. La Unión Europea quiere explorar y promover las tecnologías digitales para acelerar y maximizar el impacto de estas políticas europeas en la gestión del cambio climático y la protección del medio ambiente.

La tecnología y la digitalización son una gran oportunidad para lograr esos objetivos de sostenibilidad y la Comisión Europea es consciente de ello. Por esta razón, el Ejecutivo

Europeo les otorga un papel clave dentro de este plan, destacando el potencial de la transformación digital para acelerar y favorecer la transición hacia una economía más consciente y alineada con el planeta y el bienestar de la ciudadanía. Promueve así el uso de tecnologías digitales para el rastreo, la localización y la cartografía de los recursos, facilitando la circularidad en los procesos de producción, o el aprovechamiento del potencial de la digitalización para poner a disposición de los consumidores y usuarios la información de los productos, incluyendo soluciones como pasaportes digitales, etiquetas o marcas de agua. Del mismo modo, se refiere también a la contribución de la economía colaborativa y a los modelos de 'product-as-service'.

### 3. HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR Y DIGITAL EN EL SECTOR DEL AGUA

Nuestra sociedad necesita un flujo constante de materias primas y recursos (muchos de los cuales no son renovables) para su transformación en productos, bienes y servicios, que nos proporcionan desde alimentación, infraestructuras, agua, energía, vivienda o vestimenta, hasta dispositivos de movilidad, comunicaciones o sistemas para compartir información. Este modelo económico es insostenible, no solo porque muchos de los productos tienen un ciclo de vida corto, sino también porque en poco tiempo terminan siendo inútiles, provocando la generación de grandes cantidades de residuos que dañan el medio ambiente (Sánchez Levoso et al., 2020).

Para hacer frente a esta situación la Comisión Europea puso en marcha un Plan de Economía Circular denominado "Cerrar el círculo: un plan de acción de la Unión Europea para la Economía Circular". Este plan pretende promover un uso racional de los recursos manteniendo los productos y materiales en la economía durante el mayor tiempo posible, reduciendo al mismo tiempo la producción de residuos. Un modelo de economía circular pretende separar el crecimiento económico del consumo de recursos naturales y la degradación ambiental. En este sentido, la economía circular está concebida partir de un ciclo de desarrollo y transformación, que avanza optimizando el uso de los recursos, fomentando la eficiencia de los sistemas productivos, promoviendo que productos, materiales y recursos permanezcan activos el mayor tiempo posible, y,

paralelamente, disminuyendo la cuantía de los residuos generados (Zajac and Avdiushchenko, 2020).

La Economía Circular es un sistema de aprovechamiento de recursos cuyo pilar es el uso de cuatro “R”: reducir, reutilizar, reparar y reciclar. Es un modelo que va más allá del reciclaje y que se propone ir a la raíz del problema para ofrecer soluciones viables. Con este modelo de gestión de los recursos que ofrece el planeta se establece un ciclo circular que evita el despilfarro de los recursos naturales.

Ilustración 1 4 R de la economía circular



Uno de los recursos más vulnerables es el agua. El agua es un recurso muy valioso que no solo es esencial para la vida humana y de los organismos, sino también para muchos sectores económicos. La disponibilidad de agua dulce, tanto en cantidad como en calidad, es un elemento clave para generar y mantener el desarrollo económico. Sin embargo, este desarrollo económico se ha producido a expensas de la sobreexplotación y la contaminación de las masas de agua. Además, el cambio climático ha agravado la situación con un aumento de las olas de calor y períodos de sequía cada vez más prolongados.

Esta escasez de agua en cantidad y calidad tiene consecuencias sobre el medio ambiente y el ámbito económico y social. La continua degradación de los recursos

hídricos y su escasez han llevado a la Unión Europea a actuar. Estrategias como la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas son un ejemplo de la necesidad de preservar los recursos naturales para lograr un desarrollo sostenible. La Agenda 2030 comprende una colección de 17 objetivos globales interrelacionados (ODS), entre ellos, en particular, el ODS 6 se centra en garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento.

El sector de tratamiento de aguas residuales cobra especial relevancia en la implantación de la economía circular aportando beneficios tanto económicos como medioambientales, ya que la reutilización de aguas residuales es un recurso hídrico alternativo que asegura la disponibilidad de agua al tiempo que reduce la presión sobre los cuerpos de agua garantizando su sostenibilidad. Además, las aguas residuales contienen nutrientes, como nitrógeno y fósforo, y materia orgánica que podría recuperarse obteniendo un beneficio rentable. Por tanto, las aguas residuales no deberían considerarse un residuo sino un valioso recurso no convencional. En un contexto de escasez de agua, optimizar la gestión de los recursos alternativos es de suma importancia ya que influirá en la reducción de la presión sobre los recursos hídricos, aumentando así la cantidad total de agua disponible para hacer frente a los diferentes usos.

En este contexto, las tecnologías digitales ofrecen un gran potencial. Un adecuado proceso digital de los flujos de información permite un mayor control de la logística a todos los niveles, desde la predicción de la demanda de agua hasta el control de residuos generados con tal asegurar su reutilización dentro de los canales apropiados. En este sentido, el uso de las tecnologías para el procesamiento de esta información permite avanzar hacia un modelo más sostenible, ayudando a las empresas, en su desafío de implantar la economía circular en sus procesos productivos.

#### **4. LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES.**

En este contexto la Unión Europea identifica como Tecnologías Habilitadoras (Key Enabling Technologies) a aquellas intensivas en conocimiento, que se caracterizan por

un alto grado de I+D, combinando innovaciones físicas y digitales, se presentan como inductoras de innovación en múltiples sectores y tienen potencial para provocar grandes cambios sociales y económicos.

Ilustración 2 Tecnologías digitales



Entre ellas destacan por su potencial de transformación la conocida como la Nube (Cloud Computing), Big Data, Internet de las cosas y de las Personas (IoT e IoP) la Inteligencia Artificial, en especial la robótica, el aprendizaje máquina (Machine Learning) y en profundidad (Deep Learning) la impresión 3D, la Realidad Virtual y la nueva generación de telefonía móvil 5G. Estas tecnologías digitales disruptivas pueden impulsar la Economía Circular, integrando información de distintos sectores; económicos, ambientales y sociales y favoreciendo la transición desde los patrones actuales hacia el nuevo modelo digital. A continuación, se resumen brevemente algunas de las tecnologías digitales.

Entendemos por “Big data” el conjunto de datos generados por las distintas plataformas y usuarios, tanto estructurados como no estructurados. La importancia de los datos radica en la posibilidad de ser usados para mejorar tanto los servicios como los productos. En el caso de la gestión de recursos, el big data permite conocer los hábitos de los ciudadanos y sensibilizarlos, predecir la generación de residuos, conocer el recorrido y fin de vida de cada residuo, mejorar los procesos de recogida, clasificación y valorización, etc.

El “Cloud computing” reúne toda una serie de servicios a través de la red, por lo general se refiere a alguna de estas tres modalidades: el software como servicio (SaaS, por sus siglas en inglés), plataforma como servicio (PaaS) e infraestructura como servicio (IaaS).



El software como servicio es un modelo de distribución de software en el que las aplicaciones están alojadas por una compañía o proveedor de servicio y puestas a disposición de los usuarios a través de una red, generalmente internet. Implementar estas plataformas en las empresas les permite operar de forma más coordinada y eficiente, integrar los distintos departamentos de la empresa permite disminuir enormemente las tareas administrativas, así como acelerar los procesos internos de las compañías y ajustar la oferta a las cambiantes necesidades de los usuarios.

El 5G es la quinta generación de las tecnologías y estándares de comunicación inalámbrica, permite la conexión de múltiples dispositivos a internet a una elevada velocidad, facilitando la transferencia de datos entre usuarios y empresas, entre otros aspectos. La transferencia de datos a gran velocidad ofrece a las compañías múltiples ventajas, desde monitorizar y automatizar cualquier proceso industrial hasta conocer el consumo de los usuarios en tiempo real.

Los gemelos digitales son representaciones virtuales de cualquier proceso u objeto en tiempo real. Son usados principalmente en ingeniería y permiten monitorizar, diagnosticar y pronosticar procesos a partir de distintas variables relacionadas con su diseño y operación.

La realidad virtual está muy ligada al concepto de gemelo digital, se refiere a generación de un entorno u objeto simulado. Permiten la interacción con esta realidad, generando entorno sensorial tridimensional. Desde el punto de vista empresarial, facilitan la comprensión del producto o servicio.

Por último, el aprendizaje de máquinas “Machine learning” y/o aprendizaje profundo, más conocido como “Deep learning” son algunas de las metodologías que hacen posible la comprensión de los datos a partir de su relación y modelado. En esta misma línea, la inteligencia artificial está íntimamente ligada a las anteriores, si bien, esta última permite extraer conclusiones a un conjunto de datos sin necesidad de ser programadas con anterioridad.

En suma, las tecnologías digitales ofrecen toda una serie de beneficios tangibles no solamente empresariales sino desde el punto de vista social, ambiental y económico. La estrategia digital de la UE pretende que esta transformación y adaptación digital

funcione para las personas y las empresas, al tiempo que contribuye a alcanzar su objetivo de una Europa climáticamente neutra antes de 2050.

#### 4.1. OPORTUNIDADES DE LA DIGITALIZACIÓN.

El extraordinario avance que han experimentado las soluciones digitales, con la incorporación de tecnologías como la Inteligencia Artificial o el Big Data, nos permitirán estar mucho mejor preparados, en el corto y medio plazo, para hacer frente a nuevas crisis, bien sean sanitarias, medioambientales, sociales o incluso económicas. La transformación digital, por tanto, se ha convertido en el aliado indispensable para superar la actual crisis sanitaria y económica y crear ciudades y territorios más resilientes, sostenibles e inclusivos.

El uso de herramientas digitales ha permitido un cambio fundamental en la forma que funciona la economía, ofreciendo múltiples posibilidades de virtualización, desmaterialización y mayor transparencia el uso de productos y flujos materiales, al mismo tiempo que se crean nuevas formas de operar y participar en la economía para productores y usuarios (Sukhdev et al., 2017). Los nuevos modelos de negocio proporcionan grandes oportunidades hacia la creación de un valor económico más sostenible, estas oportunidades nacen de diferentes áreas tecnológicas:

- Información adquirida por sensores a través del etiquetado: Las tecnologías de etiquetado de activos pueden proporcionar información sobre la condición y disponibilidad de productos, componentes o materiales. A su vez, esta información puede ayudar a extender el uso del activo y prolongar su ciclo de vida. La monitorización de los patrones de uso a través de sensores puede activar también alertas tempranas sobre posibles problemas de funcionamiento.
- Información geoespacial: La combinación de los datos adquiridos con sensores con la localización geoespacial puede proporcionar visibilidad sobre el flujo de materiales, componentes, productos y personas. Esto ayuda, por ejemplo, a

detectar rutas de movilidad óptimas, picos y valles de demanda de energía, congestión y generación de residuos.

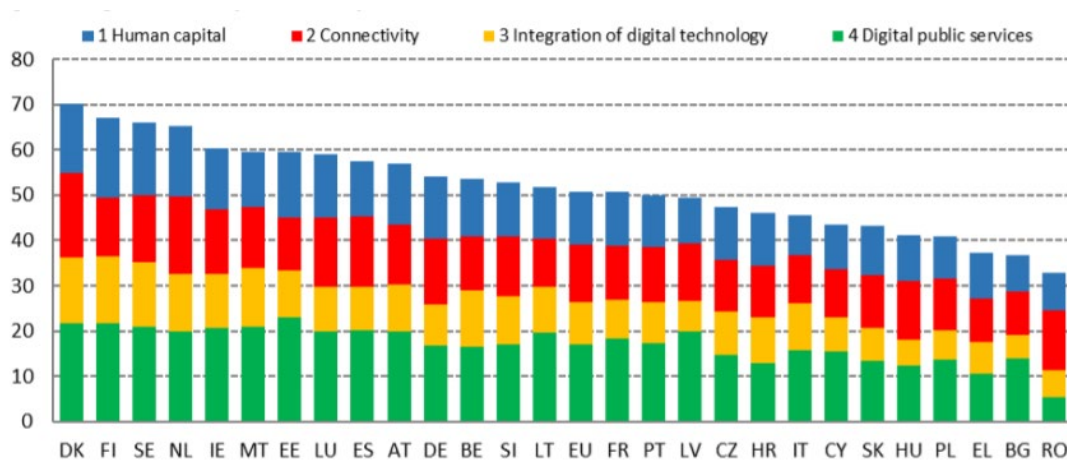
- Integración de datos: La gestión de bases de datos relacionales y del ciclo de vida de productos permite visualizar el tráfico y la información sobre contaminación en mapas bases, que junto con otras fuentes de información permite predecir y planificar estrategias específicas para abordar problemas de congestión y contaminación, a su vez ofrece a los ciudadanos que entiendan y aprendan de los datos cuando estos tienen un formato accesible y comprensible.
- Análisis de datos: Los métodos avanzados de aprendizaje automático y de inteligencia artificial tienen una elevada capacidad de cálculo, permiten superponer patrones generales de comportamiento humano con la información agregada. Por ejemplo, se pueden predecir patrones de consumo de agua, gas o energía, lo que permite a las empresas adaptarse rápidamente a la demanda.
- Conectividad: El amplio acceso a las aplicaciones inteligentes permite una mayor conexión entre las personas y los activos. Con esto es posible diseñar modelos de negocio circulares, tales como plataformas de alquiler y uso compartido, logística inversa, sistemas de devolución.

Las soluciones digitales son numerosas, ofrecen un gran abanico de posibilidades tanto para las empresas como para los ciudadanos. La combinación de distintas plataformas: geolocalización, censo, conectividad o patrones de uso, permiten multiplicar los beneficios de su uso. Actualmente es posible encontrar numerosas soluciones digitales en práctica en el marco de la Economía Circular. La estrategia Española de Economía Circular, España Circular 2030 (MINECO, 2018), focaliza sus políticas e instrumentos en los siguientes ejes: producción, consumo, gestión de residuos, materias primas secundarias y, reutilización del agua. En todos ellos es posible comprobar las posibilidades de la digitalización para acelerar su transición a una Economía Circular.

#### 4.2. BARRERAS DE ACCESO DE LA DIGITALIZACIÓN.

La implementación de la digitalización puede presentar ciertas reticencias que responden a distintos factores. Con el fin de monitorizar la adaptación de los distintos países miembros, la Comisión Europea creó el índice de Economía y sociedad digital (DESI), este indicador evalúa el progreso digital a través de factores; capital humano, conectividad, integración de tecnología digital y servicios públicos digitales. (fig.2).

Ilustración 3 Digital Economy and Society Index, 2021 Fte: DESI 2021, European Commission



Las principales conclusiones del informe son que Dinamarca, Finlandia, Suecia y los Países Bajos tienen las economías digitales más avanzadas en la UE, seguidos de Irlanda, Malta y Estonia. Por otro lado, las puntuaciones más bajas corresponden a Rumanía, Bulgaria y Grecia. Estas diferencias invitan a analizar cuáles son los principales desafíos que plantea la implementación de las nuevas tecnologías y en consecuencia planificar acciones orientadas a mejorar estos aspectos.

Las principales barreras a la implementación de nuevas tecnologías pueden agruparse en 3 grandes grupos:

1. Organizacionales y culturales; destacan en este apartado la falta de inversión en tecnologías digitales, el rechazo a la innovación abierta, la insuficiencia de talento y capacidades digitales, así como la carencia de habilidades digitales de la sociedad en general.
2. Legales y fiscales; entre las que se incluyen la amplia, aunque necesaria, legislación y normativa en materia de privacidad, seguridad y confianza, en

relación con el uso de datos e información, a la que se unen las medidas que dificultan el paso hacia los modelos de negocio digitales, como por ejemplo al favorecer al tradicional orientado al producto en lugar del servicio, demandando la necesidad de instrumentos económicos dirigidos a beneficiar a los nuevos modelos de negocio digitales y circulares.

3. Tecnológicas: el mayor desafío a abordar en este punto es asegurar la disponibilidad de datos e información. En una economía circular digital las tecnologías ayudan a la adquisición y utilización de la información a través de soluciones técnicas basadas en la Nube, Big Data, Internet de las cosas, Blockchain, etc.

Con relación a los tipos de barreras expuestas, es importante comprender qué variables son las que mayores dificultades presentan para el uso de las herramientas digitales tanto en los sectores públicos y privados como en la población. En este sentido, Érico Marcon et al., (2019) especificó una serie de barreras a partir de un estudio realizado a consultores, investigadores y directores de diferentes compañías en Francia. Las conclusiones de este estudio señalan, por orden de importancia, aquellos factores que pueden generar una mayor ralentización en el uso e implementación de las nuevas herramientas digitales (ver tabla 1).

*Tabla 1 Barreras de proceso por clasificadas y tipos. Nota. De Barriers for the digitalization of servitization, Marcon, E. et al., 2019, CIRP, 83, 254-259)*

Barreras	Definición
Financieras	Relacionado con los costos e inversiones de la estructura de la digitalización, la dificultad de cuantificar el retorno de la inversión
Competencias	Competencias y conocimientos para la digitalización, tales como: formación, enfoque en hardware, madurez digital e idioma
Resistencia al cambio	Relacionada con la mentalidad establecida, la necesidad de flexibilidad y rediseño de procesos y métodos
Humanas	Miedo a que las máquinas reemplacen a los humanos y nuevas relaciones laborales
Seguridad	Miedo a la piratería, falta de confidencialidad, confiabilidad y protección de datos
Visión cortoplacista	Visión corta del futuro debido a un enfoque en las actividades diarias, descuidar el potencial estratégico a largo plazo de la digitalización
Formación	Falta de formación especializada
Riesgo	Barrera relacionada con los riesgos que implica la digitalización.
Gobernanza	Problemas de toma de decisiones como el miedo a perder el poder
Uso	Incluye compatibilidad y dificultad en su uso
Transparencia	Miedo a perder el control de la información intercambiándola / abriéndola
Contexto industrial	El contexto de la empresa y el grado de industrialización requieren adaptaciones y diferentes puntos de partida para la digitalización
Organización	La falta de procesos operativos que permitan la digitalización y el tiempo necesario para su implementación

Los resultados muestran que las barreras relacionadas con los recursos financieros, las destrezas o capacitación de los empleados (competencias) son las que mayor puntuación reciben. En relación, resulta de elevada importancia articular instrumentos financieros que ayuden al sector productivo a desarrollar o implementar software que permita aprovechar las potencialidades de las herramientas digitales. La resistencia al cambio, así como al temor a que las máquinas reemplacen a los humanos se sitúan en los siguientes niveles de preocupación. Este hallazgo puede estar relacionado con la falta de formación específica en el sector tecnológico, de igual modo, una mayor formación puede disminuir esta percepción.

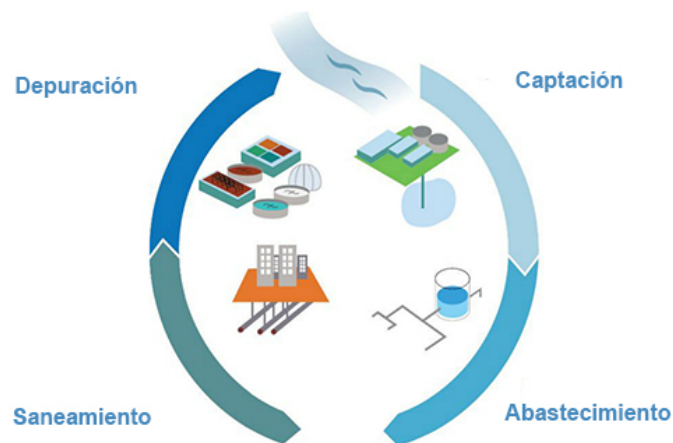
En conclusión, es importante generar un entorno favorable para incentivar el uso de las herramientas digitales, dotando al sector productivo y de servicios de instrumentos económicos y formación específica que permita aprovechar las ventajas del sector tecnológico.

## 5. LA DIGITALIZACIÓN EN EL SECTOR DEL AGUA

El agua es un bien esencial y escaso tanto para los ciudadanos como para la actividad económica de cualquier sector; es, por tanto, necesario garantizar un suministro de agua seguro, previsible y sobre todo de calidad. Además, una creciente demanda de agua, unida a una reducción de recursos hídricos, consecuencia, entre otras razones, de los efectos del cambio climático y el calentamiento global, están provocando un mayor interés por parte de los estados miembros en concebir el agua como un bien económico escaso de creciente valor.

Con tal de garantizar el suministro de agua se requieren un conjunto de infraestructuras para almacenar, potabilizar, distribuir y depurar el agua. Este conjunto de infraestructuras, desde la captación y suministro hasta su depuración y vertido se denomina ciclo urbano del agua. En cuanto a los usos, el 68% del agua urbana es de uso doméstico, el 14% se dedica al consumo industrial y comercial y el 17% restante se asigna a otros usos, como pueden ser los municipales o institucionales (AEAS, 2018).

Ilustración 4 Ciclo Urbano del Agua.



A continuación, se explica brevemente el funcionamiento del ciclo urbano del agua:

La captación y potabilización del agua es un proceso en el que se capta agua superficial o subterránea, a la cual se le aplican una serie de tratamientos para adecuar su calidad al consumo humano. El agua es sometida a una serie de procesos fisicoquímicos para eliminar todo tipo de sustancias sólidas, microorganismos, olores y sabores. Además, en la potabilización, se añaden una serie de desinfectantes al agua, generalmente cloro o dióxido de cloro, para asegurar su calidad, tanto en la salida de la planta como en la red de distribución.

A continuación, se almacena en depósitos urbanos y se conduce a través de tuberías hasta las acometidas, edificios etc... para su uso. El agua una vez utilizada pasa a ser agua residual que se recoge en el alcantarillado de la ciudad. Esta red de tuberías recoge el agua residual, de manera conjunta o separada de las aguas de lluvia. Luego se transporta hacia los sistemas de depuración o vertido. Finalmente, La depuración de las aguas residuales consiste básicamente en eliminar las impurezas del agua usada para devolverla a los cauces naturales en buenas condiciones. La depuración reduce al mínimo los riesgos ambientales y permite reutilizar parte del agua para usos secundarios.

Para llevar a cabo todo el proceso se requieren un gran número de activos físicos, desde grandes infraestructuras como Estaciones de tratamiento de agua potable (ETAPs), Estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) y tanques de almacenamiento y de tormentas, hasta elementos de menor tamaño como bombas de impulsión,

aireación, rejas de filtrado, tuberías, contadores etc. A continuación, se resumen los activos físicos que incluye el ciclo urbano del agua en España (tabla 2).

Tabla 2 Infraestructuras del ciclo urbano del agua en España (tipo).

Estaciones de potabilización (ETAPs)	1.300 Ud.
Depósitos de distribución	11.000 Ud.
Redes de distribución	225.000 km
Contadores	21.000.000 Ud.
Redes de alcantarillado	165.000 km
Tanques de tormenta	460 Ud.
Estaciones de depuración de aguas residuales (EDARs)	2.300 Ud.

Estas infraestructuras requieren una gran cantidad de energía, tanto para garantizar el correcto funcionamiento de los distintos tratamientos, como para la impulsión del agua. En total, para el conjunto del país se estima un caudal de agua de abastecimiento urbano de 3.730 hm<sup>3</sup> anuales y un volumen de agua residual tratada de 4.450 hm<sup>3</sup>, justificándose la diferencia en que, aunque no toda el agua abastecida finaliza en un desagüe canalizado hacia la EDAR, la depuradora recibe también aguas de lluvia y de otros posibles efluentes. Además, el sector del agua tiene una elevada dependencia energética, la energía asociada a estos tratamientos se estima para captación, abastecimiento y distribución de agua urbana un consumo de electricidad en bombeo de 447 GWh/año, y en depuración un consumo de electricidad de 2.225 GWh/año.

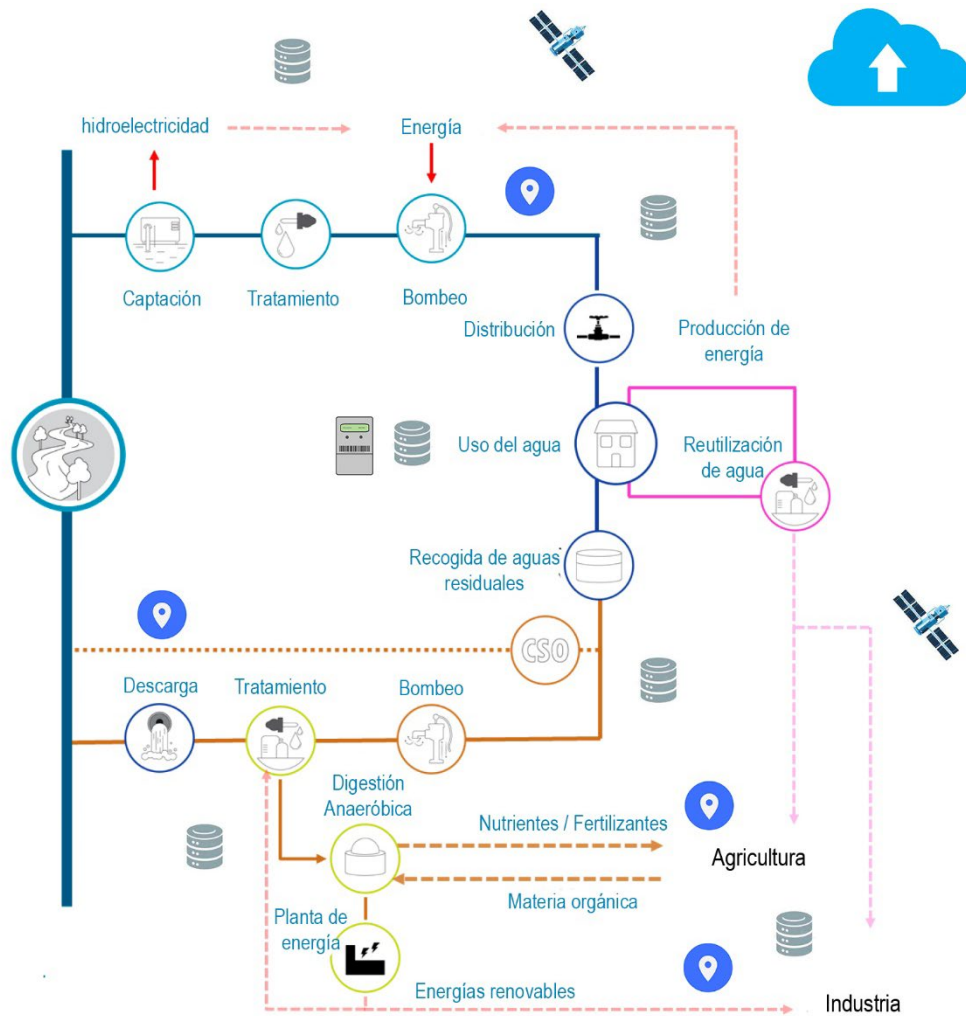
Por consiguiente, la digitalización ofrece múltiples posibilidades en el sector, en primer lugar, por la potencialidad que las herramientas digitales ofrecen para monitorizar los distintos activos, las infraestructuras y los distintos tratamientos empleados en el ciclo urbano del agua y, en segundo lugar, por las posibilidades que ofrece en cuanto a control y reducción de los consumos eléctricos dentro del marco de la economía circular. En España, el análisis del consumo de energía final en España pone de relieve cómo el petróleo y sus derivados suponen prácticamente el 51% de la energía final en 2018 seguido por la electricidad (23%) y por el gas natural (16%). Por lo que más del 75% del suministro de energía depende actualmente de fuentes no renovables como el carbón, el petróleo y el gas natural, que contribuyen significativamente a las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (MITECO, 2018).



## 5.1. POTENCIALIDAD DE LA DIGITALIZACIÓN

En secciones anteriores se explica las oportunidades que genera la digitalización en el sector del agua. Las implicaciones del uso de herramientas digitales abarcan desde la monitorización la gestión de las infraestructuras hasta optimizar y garantizar el uso de los residuos como recurso para otros sectores, ayudando a alcanzar las metas de sostenibilidad en el paradigma de la economía circular.

Ilustración 5 Digitalización y economía circular.



En el ciclo urbano del agua, la digitalización permite usar distintas herramientas de digitalización de manera complementaria (imagen 2). En primer lugar, el proceso de captación y tratamiento de agua para su posterior distribución permite generar numerosos datos que son captados a través de sensores, tales como caudales, energía, reactivos y mantenimientos requeridos, entre otros. Su constante monitorización

facilita a los operadores prever los picos de demanda, adecuando de este modo los caudales tratados y maximizando los tiempos de disponibilidad. Además, el control de las posibles variaciones de la carga orgánica permite adecuar los tratamientos, minimizando de este modo el uso de reactivos en los procesos de tratamiento.

En segundo lugar, la digitalización permite monitorizar su distribución hasta los hogares, industrias y comercios. En este sentido, facilita la detección de posibles fugas en la red, así como posibles desviaciones o anomalías en los consumos de los usuarios, mejorando la eficiencia hídrica del sistema lo que repercute en un menor consumo energético de la red.

En tercer lugar, las herramientas digitales ofrecen la posibilidad de controlar los caudales de aguas residuales vertidos al alcantarillado, ya sea con el fin de detectar grandes fluctuaciones del volumen generado como picos de carga orgánica. Esta información resulta de elevada utilidad para las Estaciones de tratamiento de aguas residuales, los datos recogidos permiten planificar las tareas de operación, ajustando los reactivos y la energía necesaria con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del proceso.

En cuarto lugar, la monitorización de los tratamientos en las EDARs permite automatizar los procesos con el fin de mejorar la eficiencia en estas infraestructuras. Los beneficios de la digitalización repercuten de manera directa disminuyendo los costes del proceso a la par que maximizan los beneficios obtenidos mediante el control de los residuos con tal de generar recursos para otros usos; fangos para la agricultura, fertilizantes y energía, entre otros.

En conclusión, la transformación digital permite integrar las nuevas tecnologías en todas las áreas del ciclo urbano del agua. La monitorización de las infraestructuras, procesos y consumos permite generar grandes cantidades de datos, los cuales, tras ser procesados mediante análisis avanzados (Iansiti and Lakhani, 2020), permiten disminuir los consumos energéticos, mejorar la productividad, aumentar la eficiencia de las instalaciones y prolongar el tiempo de vida de los activos, garantizando la sostenibilidad del sistema. Además, los resultados obtenidos pueden combinarse con otros sectores, por ejemplo, el agrícola, garantizando de este modo una viabilidad práctica para los

recursos generados por las EDARs y facilitando la integración de la economía circular. A continuación, se exponen una serie de ejemplos prácticos aplicados al ciclo urbano del agua.

#### 5.1.1. Captación y potabilización

En la captación del agua y posterior tratamiento intervienen distintos fenómenos que pueden afectar tanto a su calidad como a su disponibilidad. Los fenómenos climatológicos pueden mermar la disponibilidad de caudales en cantidad suficiente para el abastecimiento de la población, a su vez, las concentraciones de elementos fisicoquímicos que contiene el agua cruda pueden alterar su calidad, alterando el posterior tratamiento de potabilización.

- **Teledetección:** El potencial ecológico de las masas de agua se determina midiendo la diferencia entre la alteración de estas masas y su situación “ideal”. Tradicionalmente, con muestreos in situ, con barcas y redes, se hace su seguimiento teniendo en cuenta: elementos de calidad biológica como el fitoplancton, es decir, la cantidad de algas que se encuentran en suspensión en el agua y, elementos fisicoquímicos como el fósforo total, el oxígeno disuelto, la transparencia del agua o la presencia o no de sustancias peligrosas (plaguicidas, metales, compuestos industriales, etc.). El uso de teledetección, mediante imágenes, y su interpretación con herramientas informáticas, permite obtener una mayor información, completando las mediciones tradicionales. Las imágenes las proporcionan los satélites de monitorización de la Tierra Sentinel 2 y Sentinel 3, pertenecientes al programa Copernicus, de la Agencia Espacial Europea (ESA). Dentro de la toma de imágenes de la superficie terrestre, Copernicus está especializado en la vigilancia medioambiental de los ecosistemas. El fin es poder obtener mapas sobre la evolución de la calidad del agua en los distintos embalses que sirvan como referencia para la toma de decisiones en situaciones de emergencia o para la gestión de estos.
- **Modelos hidrológicos:** El uso de “big data” y su posterior procesamiento mediante técnicas de modelización permite desarrollar modelos hidrológicos, estos modelos son capaces de simular eventos meteorológicos y sus

consecuencias hidrológicas en forma de avenidas, permitiendo optimizar la gestión del embalse ante fenómenos extremos, minimizando riesgos y garantizando el abastecimiento de agua a las estaciones de tratamiento de aguas potables.

- **Diseño y operación de infraestructuras:** La digitalización permite integrar aspectos como la planificación, ingeniería y operación, los datos adquiridos durante la fase de operación se pueden reutilizar para ingeniería y complementar con los datos operativos más recientes. Las actualizaciones automáticas de los datos de planificación durante la operación de la planta permiten tener siempre a la vista el estado real de las plantas y los sistemas al realizar el servicio y las modernizaciones y para implementar proyectos de manera eficiente y efectiva. Reunir todos estos datos dará como resultado un gemelo digital: un modelo de una planta construido a partir de todos los datos operativos y de diseño de una planta durante todo su ciclo de vida. Este modelo apoya activamente el mantenimiento de la información y permite la optimización continua del diseño, operación y mantenimiento de la planta. A nivel de la planta, el gemelo digital es un punto de partida ideal para el modelado y la simulación de procesos, por ejemplo, al vincular los datos de los embalses con datos meteorológicos para respaldar la toma de decisiones informadas en relación con eventos climáticos severos, o para ayudar a detectar fugas en las tuberías según el flujo.
- **Gestión del mantenimiento:** La gestión del mantenimiento en las infraestructuras es un tema de elevado interés para los gestores de las plantas, mantener los equipos en óptimas condiciones garantiza la disponibilidad de agua, en cantidad y calidad. El deterioro de los equipos o infraestructuras ya sea debido a su degradación por circunstancia operativas u otros factores puede generar averías que pongan en riesgo la continuidad del servicio. La digitalización de los activos permite pasar de un mantenimiento preventivo a un mantenimiento predictivo, este aspecto genera numerosos beneficios; disminución de averías, reducción de costes dedicados a las reparaciones y aumento de la eficiencia de los distintos equipos. Por este motivo, los activos más críticos, bombas de impulsión, soplantes o tuberías pueden incorporar

sensores que monitoricen aspectos relacionados con su funcionamiento y condiciones de operación. Por ejemplo, las bombas de impulsión de agua pueden incorporar medidores de vibración y temperatura, los datos recogidos son procesados, estableciendo intervalos máximos y mínimos que, en caso de desviación generan alertas al operador de planta, evitando de este modo averías. La digitalización aplicada a los activos permite comprender su estado y pronosticar averías potenciales, permitiendo de este modo programar mejoras en las actividades de mantenimiento. En conclusión, la monitorización y procesamiento de datos en el área de los mantenimientos permite a los operadores alargar la vida del activo y asegurar la continuidad del servicio.

#### 5.1.2. Distribución

- **Contadores inteligentes:** En materia de tele lectura, los contadores inteligentes permite a los usuarios consultar el consumo propio de agua en tiempo real a través de las aplicaciones alojadas en la nube. El software ofrece un sistema de alarma por fugas interiores ante un incremento súbito del consumo habitual, detecta posibles ocupaciones en segundas residencias o situaciones de riesgo para personas vulnerables que viven solas, en el caso de detectarse un parón en el consumo. Los contadores permiten una facturación exacta del servicio, eliminando de este modo los consumos estimados por los hogares, industria o comercios, dotando de mayor transparencia y calidad la prestación del servicio. A su vez, los datos generados están conectados a la plataforma para el abastecimiento (ETAPs), que recopila y analiza datos diarios sobre el relacionados con la cantidad de agua suministrada o los caudales y presiones en la red.
- **Sectorización:** Las pérdidas de agua potable en la red de distribución es uno de los mayores problemas para los operadores, implican elevadas pérdidas económicas además de ser una fuente de ineficiencia. Esto es debido, entre otros aspectos, al elevado consumo energético necesario para su impulsión. La sectorización permite establecer un balance acotado por zonas geográficas,

barrios y edificios, identifican y cuantifican las posibles pérdidas de agua potable y, en consecuencia, permite a los operadores actuar en áreas muy delimitadas. En este caso, se combinan herramientas digitales dedicadas a monitorizar los caudales de entrada y salida y la geolocalización de las redes. El posterior análisis de los datos permite establecer alarmas en tiempo real.

### 5.1.3. Saneamiento

La digitalización de los sistemas de saneamiento y aguas residuales, al igual que en las redes de distribución de agua potable, ofrece numerosas ventajas. Si bien, los sistemas de saneamiento pueden presentar mayores retos, debido a que pueden existir redes centralizadas a las que se conectan los hogares o, en caso de zonas rurales con menor densidad de población, sistemas de saneamiento independientes.

- **Tele gestión:** En el caso de zonas rurales, la población conectada a la red de alcantarillado es muy baja. Habitualmente se usan fosas sépticas para almacenar y tratar las aguas residuales domésticas. Las dimensiones de la fosa séptica dependen principalmente de las viviendas conectadas y deben ser vaciadas cada cierto tiempo. La digitalización permite geolocalizar las fosas sépticas mediante el uso de sistemas de información geográfica, además el proveedor puede acceder a los datos relacionados con la capacidad y la cantidad total que contiene. El operador puede planificar las intervenciones, dadas las características de la zona geográfica que abastece, reduciendo tiempos y incrementando la eficiencia del servicio.
- **Planificación de inversiones:** Las redes de saneamiento están expuestas al deterioro debido a múltiples factores, el envejecimiento de estas infraestructuras provoca roturas que son difíciles de localizar debido a que la gran mayoría están enterradas. Las herramientas digitales permiten integrar la localización de las redes, el material usado y la edad, generando un índice que permite planificar las intervenciones de reemplazo. Además, el uso de

herramientas de medición de caudales y su sectorización alerta de posibles pérdidas de agua residual.

- **Salud:** El muestreo automático combinado con técnicas de medición bioquímica mediante sensores, ha demostrado ser una herramienta digital de lucha contra la pandemia generada por el covid-19. A partir de distintos indicadores relacionados con la carga orgánica y virus que contiene el agua residual es capaz de identificar barrios o zonas geográficas con mayor presencia de este virus. La información obtenida permite tomar decisiones en el ámbito sanitario.
- **Predicción de caudales:** El criterio tradicional empleado para estimar los caudales de agua residual urbana se basa en su cálculo como un 80% fijo de caudal de abastecimiento en cada área de estudio. Sin embargo, estos caudales están sujetos a grandes variaciones debidas a posibles pérdidas, precipitaciones o consumos no identificados. Conocer con exactitud el caudal permite optimizar el uso de las bombas de impulsión en el sistema de saneamiento, adaptando su funcionamiento al volumen real registrado. Además, estos datos resultan de gran ayuda para las estaciones de tratamiento de aguas residuales, las cuales pueden adaptar sus recursos a las variaciones que experimentan las redes de saneamiento, controlar los alivios en las redes y los posibles vertidos. La digitalización, permite agregar las unidades generadoras de agua residual, principalmente hogares, comercio e industria, identificando la procedencia (mediante sectorización) de modo que permite generar un coeficiente de retorno para cada tipo de hogar (según características singulares; residenciales, pisos etc....) a partir del agua potable suministrada. Estos cálculos se realizan en tiempo real, incluyendo, otros factores externos, como pueden ser las precipitaciones.

#### 5.1.4. Depuración

Las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDARs) desempeñan un papel fundamental ya que forman parte del conjunto de infraestructuras urbanas y su objetivo es garantizar la calidad de los efluentes vertidos al medio. Estas infraestructuras

requieren una amplia gama de activos que se pueden agrupar en construcción civil, tuberías y equipamiento electromecánico. Cada tipo de activo ha sido diseñado para llevar a cabo una función específica, la obra civil: tanques, depósitos y reactores se usan para retener las aguas residuales y que tengan lugar los diferentes procesos fisicoquímicos y biológicos. Las tuberías conducen las aguas residuales a lo largo del proceso y los equipos electromecánicos se utilizan para la impulsión y aireación, así como para deshidratar los fangos generados. La gran cantidad de activos que componen estas infraestructuras ofrece numerosas oportunidades para la digitalización.

- **Monitorización del efluente:** Las EDARs deben de extraer una determinada cantidad de contaminantes para un volumen de agua residual tratada. Los límites de vertido vienen establecidos por la Directiva 91/271/CEE, estos criterios son fijados a partir de las características como los habitantes equivalentes tratados y el punto de vertido. El control de los contaminantes que contiene el agua residual es de suma importancia en lo que respecta a las tareas de operación, mayores cargas contaminantes implican variaciones en el uso de reactivos y energía. La incorporación de sensores permite medir la carga orgánica del agua residual en tiempo real, los sensores pueden ser colocados a la entrada del influente, al final de cada tratamiento (primario y biológico) y a la salida del efluente. Los datos generados permiten realizar un seguimiento de los distintos parámetros, adecuando de este modo los tratamientos (reactivos y otros) y minimizando posibles desviaciones debidas a variaciones externas (como vertidos y precipitaciones).
- **Optimización de recursos:** La aplicación del sistema de computación en la nube permite integrar volúmenes de datos generados a partir de los sistemas de monitorización y medición para la calidad del agua, el consumo de energía y el uso de reactivos. El sistema de computación en la nube procesa datos y visualiza la operación del proceso de depuración de las aguas residuales, el consumo de energía y el análisis de costes. De este modo, con ayuda de la digitalización, es posible generar un gemelo digital del proceso completo. Los gemelos digitales son generados para simular escenarios tales como; variaciones en los caudales,



precipitaciones y cargas orgánicas, entre otros aspectos. Esta simulación permite al operador proyectar distintas alternativas en el entorno real, favoreciendo de este modo la disminución de los costes y una mayor eficiencia energética a la par que minimiza riesgos de vertido.

- **Gestión de activos:** La digitalización permite gestionar los distintos activos que componen estas infraestructuras de una forma centralizada. Su monitorización constante y la aplicación de algoritmos permite reducir el riesgo de avería y los costes asociados al ciclo de vida a partir de datos históricos. La confiabilidad de los activos puede ser evaluada a través de metodologías como el “machine learning”, con tal de usar todos los datos disponibles con el objetivo de detectar anomalías e identificar posibles causas de las averías (análisis causa-raíz). Además, los algoritmos permiten la estimación del tiempo medio hasta el fallo (MMTTF), e integrarse con otros sistemas de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS), programar órdenes de trabajo y verificar repuestos. El reconocimiento de patrones y detección de anomalías, mediante el análisis predictivo, tanto en activos como en los procesos de tratamiento, permite detectar y responder rápidamente a posibles fallos de activos y procesos, sus ineficiencias y anomalías. Esto reduce: el tiempo de inactividad; el incumplimiento de las normas de efluentes; el consumo de energía y químicos; y la mano de obra requerida, entre otros aspectos.
- **Análisis de riesgo:** Las EDARs reciben una elevada carga de contaminantes que deben tratar para minimizar el impacto al medio. Es fundamental asegurar el correcto funcionamiento de los procesos de tratamiento del agua residual con tal de evitar impactos medioambientales. La digitalización en el análisis de riesgos permite apoyar la toma de decisiones evaluando y analizando los riesgos asociados con la operación de la infraestructura, diseñando un sistema técnico que incluye múltiples variables; calidad de agua vertida, vulnerabilidad del medio receptor, tiempos de no disponibilidad de equipos, distancia a núcleos o poblaciones etc.... Las herramientas digitales permiten medir en tiempo real los posibles impactos medioambientales asociados a cada uno de los tratamientos y equipos. Además, la analítica de riesgos puede incorporar datos relacionados

con la gestión de activos, por ejemplo, variables relacionadas con el estado de los distintos equipos, proporcionando alertas tempranas y minimizando posibles desviaciones en el efluente y por consiguiente evitando impactos ambientales y sus consecuencias.

- **Optimización de la energía y emisiones asociadas:** Los tratamientos de depuración consumen grandes cantidades de energía, Los estudios realizados afirman que entre un 25 y un 40% de los costes de operación de una EDAR están relacionados con el consumo energético. Los principales consumidores son los equipos de aireación (55-70%), el bombeo del agua residual a los decantadores primario y secundario (15%) y el secado de fangos (7%). La posibilidad de mejora es importante ya que los motores, bombas y otros equipos funcionan las 24 horas del día, siete días a la semana. Esto hace que las EDAR se encuentren entre los mayores consumidores energéticos. Uno de los principales retos es la reducción del uso de la energía en estas instalaciones. La digitalización permite, mediante sistemas de control y el uso de algoritmos matemáticos reducir el consumo energético adaptando, por ejemplo, las necesidades de aireación del tratamiento biológico. Los beneficios repercuten en una mejora de la estabilidad del proceso y unos menores costes de operación.
- **Fangos:** La operación de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) conlleva la generación de grandes cantidades de fangos, los cuales se han de gestionar en la propia EDAR antes de su evacuación final. El objetivo del tratamiento de los lodos es reducir su contenido en agua, en patógenos y asegurar la estabilidad de la materia orgánica. Estos fangos, son almacenados para posteriormente ser utilizados como fertilizante vegetal o enmienda de suelos, uno de los usos más acordes con los principios medioambientales de reciclaje y valorización de residuos. El coste de la gestión de los lodos puede llegar a suponer un 50% de los costes de explotación de la depuradora, por lo que es de gran importancia controlar los procesos con tal de disminuir costes. La monitorización y automatización de las etapas y procesos en la línea de fangos permite: predecir la producción de fangos, cuantificar la materia orgánica que contienen con tal de valorizarlo y minimizar el volumen con tal de optimizar/aprovechar los lodos generados en el proceso.

### 5.1.5. REUTILIZACIÓN

La reutilización es uno de los objetivos de la economía circular, mantener los materiales y productos tanto como sea posible en el circuito convirtiendo los residuos en recursos, mejorando la eficiencia de los procesos y alargando la vida útil de los productos. Por tanto, el objetivo último de la economía circular es minimizar los recursos obtenidos de los sistemas naturales reduciendo la carga sobre los recursos de la tierra, al tiempo que se reducen los residuos y la contaminación generados. Particularmente, su papel adquiere especial importancia en el contexto del sector del agua, ya que se ha ejercido mucha presión sobre los recursos hídricos. El sector del agua aporta beneficios tanto económicos como medioambientales, ya que la reutilización de aguas residuales es un recurso hídrico alternativo que asegura la disponibilidad de agua al tiempo que reduce la presión sobre los cuerpos de agua garantizando su sostenibilidad. Además, las aguas residuales contienen nutrientes, como nitrógeno y fósforo, y materia orgánica que podría recuperarse obteniendo un beneficio rentable. Habitualmente, en lo que se refiere a la generación de recursos se pueden distinguir 3 vectores:



**Vector agua:** Los caudales regenerados permite un uso agrícola, urbano, industrial, recreativo, ambiental y acuícola.

**Vector recursos:** Los fangos generados ofrecen posibilidad de reutilizarlos en el sector agrícola, ya sea como abonos o fertilizantes. Las arenas recuperadas permiten un segundo uso, así como los desbastes y las grasas generadas en el proceso de depuración.

**Vector energía:** Las Edars pueden generar energía limpia a partir de la cogeneración, esta energía puede ser usada en el propio proceso o inyectada a la red eléctrica, disminuyendo las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas.

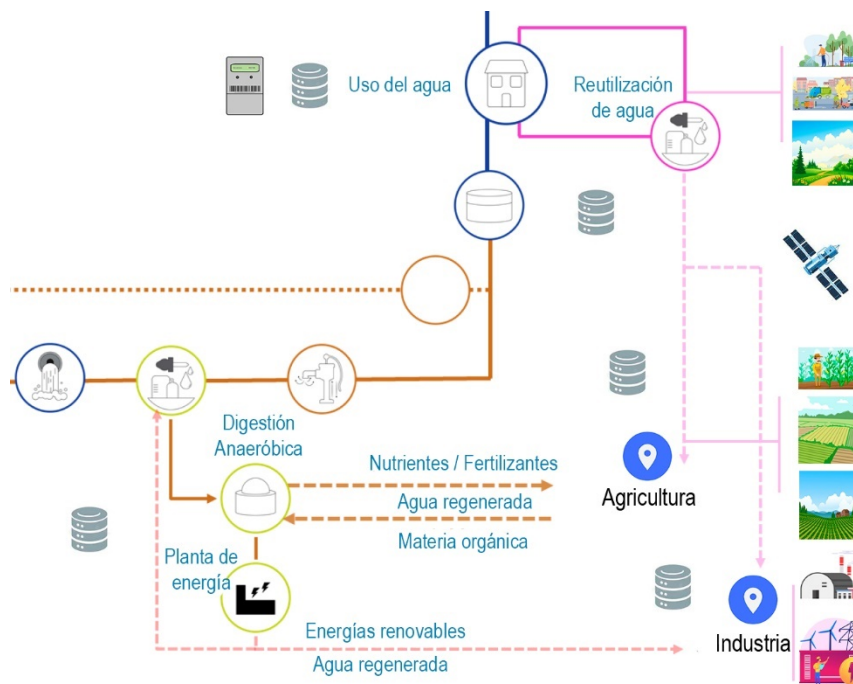
En el contexto de la reutilización pueden intervenir múltiples sectores económicos (industrial, agrario, servicios), esto es debido a los distintos aprovechamientos que presenta el sector del ciclo urbano del agua en su conjunto:

En primer lugar, la industria puede aprovechar el agua regenerada para sus procesos productivos. En segundo lugar, el sector agrícola puede usar los fangos generados, así como los fertilizantes obtenidos a partir del nitrógeno y el fósforo, además el agua regenerada representa una fuente de agua no convencional para satisfacer la demanda de los cultivos y, en tercer lugar, a nivel medioambiental, la reutilización del agua permite garantizar caudales ecológicos, servir de riego planificado en zonas forestales, recuperar ecosistemas (marjales) o favorecer la recuperación de acuíferos mediante infiltración.

La combinación de los distintos usos de los subproductos generados en el proceso y las cantidades que cada agente requiere configuran el total de oportunidades que representa la economía circular para el sector del ciclo urbano del agua. De modo que el total de la oferta de agua y subproductos y su demanda genera el ecosistema de aprovechamientos en el sector. De manera que es de vital importancia alinear la oferta de los recursos generados por las infraestructuras del ciclo urbano del agua con la demanda del resto de sectores. El objetivo es optimizar las relaciones con tal de maximizar los beneficios generados. En este sentido, la digitalización brinda la posibilidad de dar respuesta a estas nuevas exigencias, actuando como facilitador de las mejoras en materia de economía circular en el sector del agua.

En ejemplos anteriores, se exponen los distintos beneficios de la digitalización en las distintas etapas del ciclo urbano del agua. Los datos, obtenidos mediante monitorización, pueden ser modelados con tal de dar respuesta a patrones relacionados con caudales, consumos, concentración de contaminantes, control de equipos y procesos, generación de fangos o producción de energía eléctrica. En el marco de la economía circular, las necesidades agrícolas, industriales y urbanas son potenciales usuarios de los subproductos generados (imagen 3).

Imagen 3. Digitalización y reutilización: Usos urbanos, agricultura e industria.



En el caso agrícola, el uso del agua debe regularse con el objetivo de reducir los efectos negativos del impacto del cambio climático sobre el sector agrícola del país. Implica continuar modernizando el sector mediante nuevos sistemas de irrigación con tal de optimizar los consumos y contar con el agua regenerada como fuente no convencional para el riego. En este sentido, la digitalización permite conocer con detalle las necesidades hídricas de los distintos cultivos a partir de distintas variables (climatológicas, tipo de suelo, cultivo) y conectar estas necesidades con los caudales de agua que pueden ser regenerados para dotar al sector agrícola del recurso agua en cantidad y calidad suficiente. Además, las necesidades de fertilizantes, principalmente fósforo y nitrógeno, pueden ser satisfechas en parte por las EDARs, estas concentraciones pueden ser monitorizadas y administradas dependiendo del destino a abastecer. Esto es posible gracias a la sectorización de los canales de riego.

Por último, el fango generado en la depuración de aguas residuales, gestionado correctamente, puede servir de compost, mejorando las propiedades del suelo o corrigiendo el déficit de algún parámetro, ya que contienen un alto grado de materia orgánica y nutrientes. La cantidad de compost a utilizar depende de distintas variables como tipo de suelo, cultivo o límite de nitrógeno por ha., de nuevo, sincronizar los datos

relativos a necesidades del subproducto y la capacidad de generación por parte de las EDARs permite planificar su uso, adecuándose a las necesidades agrícolas.

En el sector industrial, por ejemplo, la industria cerámica, tiene un uso intensivo de agua en sus procesos de producción, esta industria es consumidora de un gran volumen de agua en sus procesos de fabricación, principalmente de origen subterráneo. El uso de agua regenerada en algunos de los procesos de producción permitiría disminuir la extracción de agua dulce de los acuíferos, reduciendo el estrés hídrico. De nuevo, la digitalización y posterior sincronización de demandas de agua por parte del sector industrial, permitiría ajustar las cantidades necesarias de agua regenerada, aumentando la eficiencia del proceso.

Finalmente, en el ámbito urbano, los usos del agua regenerada son variados, a nivel servicios es posible el riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares), baldeo de calles, sistemas contra incendios, lavado de vehículos o riegos del interfaz urbano forestal. Las necesidades hídricas de los distintos usos pueden ser planificadas y digitalizadas con tal de optimizar el consumo de agua regenerada, por ejemplo, el riego de jardines públicos o el baldeo de calles puede variar dependiendo de las precipitaciones. A su vez, las cantidades de agua requeridas pueden ir en función de las dimensiones y, por último, la planificación del riego puede venir determinada por otros aspectos relacionados con la temperatura. Los algoritmos permiten modelizar las diferentes variables, ofreciendo soluciones basadas en el cálculo automatizado en tiempo real. Sincronizar estas soluciones con el proceso de regeneración en las EDARs permite que la infraestructura pueda planificar la producción de agua para cada tipo de uso, regenerando y almacenando agua para asegurar su disponibilidad en la cantidad y calidad que requiere cada uso.

## 6. CONCLUSIONES

Las tecnologías y los datos digitales están generando múltiples beneficios, la digitalización actúa como facilitador de una transformación económica que se orienta hacia el progreso humano, social y medioambiental. La conectividad que ofrece la

digitalización permite a las empresas crear sistemas más eficaces y eficientes a partir del análisis de grandes volúmenes de datos. Además, las herramientas digitales permiten medir las implicaciones del nuevo modelo económico en el medioambiente y el cambio climático. Por este motivo, la Unión Europea lleva a cabo un ambicioso plan con el fin de promover las tecnologías digitales, mediante el Pacto Verde Europeo.

Una de las potencialidades de la digitalización es su capacidad para acelerar y favorecer la transición hacia una economía más consciente y alineada con el planeta y el bienestar de la ciudadanía. Las tecnologías digitales facilitan el rastreo, la localización y la cartografía de los recursos, permitiendo la circularidad en los procesos de producción. Esta circularidad facilita el aprovechamiento de los recursos basado en reducir, reutilizar, reparar y reciclar. Con este modelo de gestión de los recursos que ofrece el planeta se establece un ciclo circular que evita el despilfarro de los recursos naturales.

Un buen ejemplo práctico de las potencialidades de la digitalización es el sector urbano del agua, la transformación digital de estas infraestructuras y canalizaciones permite mejorar la gestión mediante el control continuo y monitorización de los procesos. El uso de los sensores cobra una especial relevancia debido al gran número de activos, proporcionan datos en tiempo real sobre la calidad del agua, caudales, presiones y niveles de agua, entre otros parámetros. Una variedad de sensores, tanto fijos como móviles, se puede dispersar en los sistemas para ayudar a las operaciones diarias optimizando el uso de recursos, detectar, diagnosticar y prevenir de forma proactiva los daños, y proporcionar información útil para la prevención, mantenimiento y planificación a largo plazo.

En este sentido, la posibilidad de digitalizar distintos sectores productivos plantea un reto para el actual modelo económico; alinear las estrategias de los distintos sectores para avanzar en la implementación de una economía circular, aumentando de este modo la eficiencia en lo que respecta al uso de recursos.

La monitorización del sistema productivo, el uso del big data y la posibilidad de modelizar distintos patrones genera una gran cantidad de datos que pueden ser aprovechados. En el estudio se explica brevemente, concretamente en el caso del ciclo urbano del agua, como los distintos sectores económicos, agrícola e industrial pueden

aprovechar las potencialidades de la digitalización. La posibilidad de hacer uso del agua regenerada en sus procesos productivos, así como aprovechar los fangos o fertilizantes permite generar nuevos modelos de negocio basados en la economía circular. Además, conocer las necesidades de agua regenerada a nivel urbano (jardines, baldeo de calles, etc..) permite planificar los tratamientos necesarios para adecuar el agua a los distintos usos. Sincronizar las necesidades de todos los agentes implicados, usando las herramientas digitales, repercute en una mayor eficiencia global generando un nuevo modelo de colaboración a tres bandas entre el sector público, el sector privado y los ciudadanos.

## 7. REFERENCIAS

- Abu-Ghunmi, D.; Abu-Ghunmi, L.; Kayal, B.; Bino, A. Circular economy and the opportunity cost of not ‘closing the loop’ of water industry: The case of Jordan. *J. Clean. Prod.* 2016, 131, 228–236.
- Brennen, J.S. and Kreiss, D. (2016), “Digitalization”, in Jensen, K.B., Rothenbuhler, E.W., Pooley, J.D. and Craig, R.T. (Eds), *The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy*, Wiley-Blackwell, Chichester, pp. 556-566.
- Bouwman, H., de Reuver, M. and Shahrokh, N. (2017), “*The impact of digitalization on business models: how IT artefacts, social media, and big data force firms to innovate their business model*”, 14th International Telecommunications Society (ITS) Asia-Pacific Regional Conference, Kyoto, June 24-27.
- Christis, M., Athanassiadis, A., & Vercalsteren, A. (2019). Implementation at a city level of circular economy strategies and climate change mitigation—the case of Brussels. *Journal of Cleaner Production*, 218, 511-520.
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32.



- Guerra-Rodríguez, S., Oulego, P., Rodríguez, E., Singh, D. N., & Rodríguez-Chueca, J. (2020). Towards the implementation of circular economy in the wastewater sector: Challenges and opportunities. *Water*, 12(5), 1431.
- Lansiti, M., & Lakhani, K. R. (2020). *Competing in the age of AI: strategy and leadership when algorithms and networks run the world*. Harvard Business Press.
- Lerch, C. and Gotsch, M. (2015), “*Digitalized product-service systems in manufacturing firms: a case study analysis*”, *Research-Technology Management*, Vol. 58 No. 5, pp. 45-52.
- Loebbecke, C. and Picot, A. (2015), “*Reflections on societal and business model transformation arising from digitization and big data analytics: a research agenda*”, *Journal of Strategic Information Systems*, Vol. 24 No. 3, pp. 149-157.
- Marcon, E., Marcon, A., Le Dain, M. A., Ayala, N. F., Frank, A. G., & Matthieu, J. (2019). Barriers for the digitalization of servitization. *Procedia CIRP*, 83, 254-259.
- Paulus-Rohmer, D., Schatton, H. and Bauernhansl, T. (2016), “*Ecosystems, strategy and business models in the age of digitization – how the manufacturing industry is going to change its logic*”, *Procedia CIRP*, Vol. 57 No. 2016, pp. 8-13.
- Sánchez Levoso, A., Gasol, C.M., Martínez-Blanco, J., Durany, X.G., Lehmann, M., Gaya, R.F., 2020. Methodological framework for the implementation of circular economy in urban systems, *J. Clean. Prod.* 248, 119227.
- Turcu, C., & Gillie, H. (2020). Governing the circular economy in the city: Local planning practice in London. *Null*, 35(1), 62-85.
- Unruh, G. and Kiron, D. (2017), “*Digital transformation on purpose*”, *MIT Sloan Management Review*, November 6, available at <https://sloanreview.mit.edu/article/digital-transformation-on-purpose/> (accessed April 24, 2018).
- Zajac, P., Avdiushchenko, A., 2020. The impact of converting waste into resources on the regional economy, evidence from Poland, *Ecol. Model.* 437, 109299.